

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Statické posouzení zastřešení objektu rodinného domu

Static calculation of roof structure – building house

Student:

Kristýna Papugová

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.

Ostrava 2012

Zadání bakalářské práce

Student: **Kristýna Papugová**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607R037 Konstrukce staveb
Téma: Statické posouzení zastřešení objektu rodinného domu.
Static calculation of roof structure – building house.

Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce vypracujte:

1. Variantní řešení zastřešení daného objektu.
2. Zatížení a předběžný návrh hlavních prvků vybraných variant, porovnání.
3. Dispoziční a architektonické řešení zvolené varianty krovu (část projektové dokumentace pro stavební řízení).
4. Podrobný statický výpočet základních nosných prvků krovu.
5. Návrh a posouzení detailů a spojů.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí.
- [2] ČSN EN 1991: Zatížení konstrukcí. (potřebné části)
- [3] ČSN EN 1995-1-1: Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [4] ČSN 731702: Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [5] Kuklík, P.: Dřevěné konstrukce, Praha, 2008
- [6] Koželouh, B.: Step 1 a Step 2 – Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, Zlín, 1998
- [7] Jelínek, L.: Tesařské konstrukce, Brno 2008
- [8] Odborné časopisy – Konstrukce, Stavitel, Structural Engineering, Stahlbau
- [9] Internet

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2011

Datum odevzdání: 30.04.2012



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Darja Kubečková Skulinová, Ph.D.
děkanka fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/200 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Anotace

Bakalářská práce obsahuje řešení přístavby obytného podkroví na rodinném domu. Dále výpočet zatížení, statické posouzení všech prvků krovu, návrh a posouzení spojů. Součástí bakalářské práce je také statické posouzení stávajícího dřevěného přístřešku pro auta a pro nevyhovující posudky je navrženo řešení.

Annotation

The thesis is dedicated to a solution for an extension of residential attic in a family house. Further included is a calculation of the load, a static assessment for all the roof frame elements, and a proposition and evaluation of joints in the frame. One of the parts in the thesis is also devoted to a static assessment of an existing shed for cars; an alternative solution is proposed for unsatisfactory results revealed by the assessment.

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Varianty zastřešení	1
2.1 Hambalkový krov	2
2.2 Vaznicový krov	3
2.3 Příhradový vazník	4
3. Statické schéma	5
4. Zatížení krovu	8
4.1 Stálé zatížení	8
4.2 Užitné zatížení.....	11
4.3 Nahodilé zatížení.....	12
5. Statické posouzení prvků krovu	25
5.1 Latě.....	25
5.2 Krokve	33
5.3 Kleštiny	43
5.4 Vaznice.....	49
5.5 Sloupky a pásy	60
5.6 Pozednice a sloup.....	64
5.7 Zavětrování.....	71
6. Spoje.....	73
6.1 Spoj kleština – krokev	73
6.2 Spoj krokev – krokev	79
6.3 Spoj vaznice	84
6.4 Spoj sloupu s kotevní patkou	88
7. Přístřešek pro auta	92

7.1 Stálé zatížení	93
7.2 Užitné zatížení	94
7.3 Nahodilé zatížení	94
8. Statické posouzení přístřešku pro auta	98
8.1 Krokve přístřešku	98
8.2 Dolní vaznice a sloupky přístřešku	105
8.3 Horní vaznice a sloupky přístřešku	118
9. Návrh řešení pro nevyhovující posudky	130
9.1 Nové posouzení vaznice	131
Závěr	140
Použitá literatura	141
Přílohy	142
1. Vliv délky pásků na vnitřní síly a průhyb	142
2. Spoje s vloženými hmoždíky	144
Výkresová dokumentace	

1. Úvod

Tato bakalářská práce je zaměřena na návrh zastřešení rodinného domu, který je již postaven, a jeho majitelé se rozhodli vystavět obytné podkroví. Pro objekt jsem vytvořila tři varianty zastřešení, krov hambalkové, vaznicové soustavy a příhradový vazník, které jsou rozebrány v teoretické části.

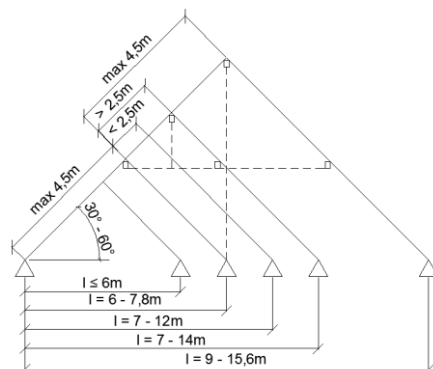
V hlavní části bakalářské práce je podrobné statické posouzení jednotlivých prvků vybrané varianty zastřešení, návrh a posouzení spojů. Dále bylo nutné posoudit také již stojící dřevěný přístřešek pro auta. Jelikož přístřešek přiléhá přímo k rodinnému domu, vznikne možnost spadu sněhu ze střechy rodinného domu na střechu přístřešku. Na toto mimořádné zatížení není přístřešek dimenzován a pro nevyhovující posudky je třeba navrhnout vhodné řešení a prvky znovu posoudit.

Veškeré značení neznámých je uvedeno v každé kapitole a souhlasí se zavedenými značkami v normách [2-6], [9].

2. Varianty zastřešení

Pro objekt jsem vytvořila tři typy konstrukce střechy. První je krov hambalkové soustavy, ke kterému bylo nutné doplnit vrcholovou vaznici kvůli velkému rozpětí. Ten jsem si nakonec vybrala pro posudek. Druhý je vaznicový krov a poslední je zastřešení pomocí příhradových vazníků.

Volba druhu konstrukce závisí především na šířce budovy a uspořádání nosných stěn pro podepření sloupků, které nesou vaznici. Volba konstrukce v závislosti na rozpětí je orientačně znázorněna na obrázku 2.1.



Obrázek 2.1 – konstrukční zásady

2.1 Hambalkový krov

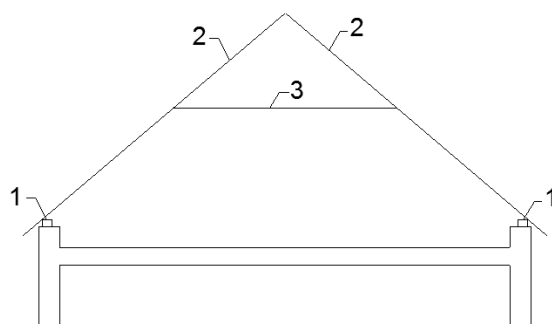
Hambalkové krovy umožňují maximální využití podkrovního prostoru, dají se rozdělit na krovy s posuvným a neposuvným hambalkem, rozdíl je vidět na obrázku 2.2. V zásadě navrhujeme přednostně krovy s neposuvným hambalkem, které mají menší vodorovný posun, a tím omezíme vznik případných trhlin v podhledu podkroví [1].



Obrázek 2.2 – krov s posuvným a neposuvným hambalkem

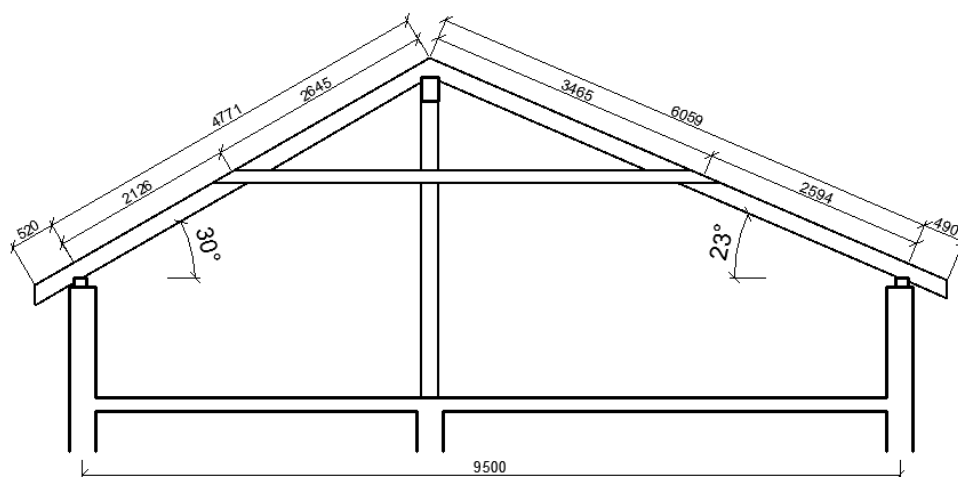
Hambalkový krov s neposuvnými hambalky vytvoříme použitím ztužidla na horní ploše hambalků. Jako ztužidlo můžeme použít tuhou desku nebo příhradové ztužidlo. Příhradové ztužidlo vytvoříme pomocí zavětrovacích pásů a jako tuhou desku můžeme použít OSB desku [1].

Klasický hambalkový krov, který je na obrázku 2.3, nelze na řešeném půdorysu použít z důvodu velkého rozpětí. Řešením je použití hambalkového krovu s vrcholovou vaznicí, obrázek 2.4, což se dá považovat i za kombinaci hambalkové a vaznicové soustavy [1].



1 - POZEDNICE, 2 - KROKVE, 3 - HAMBALK

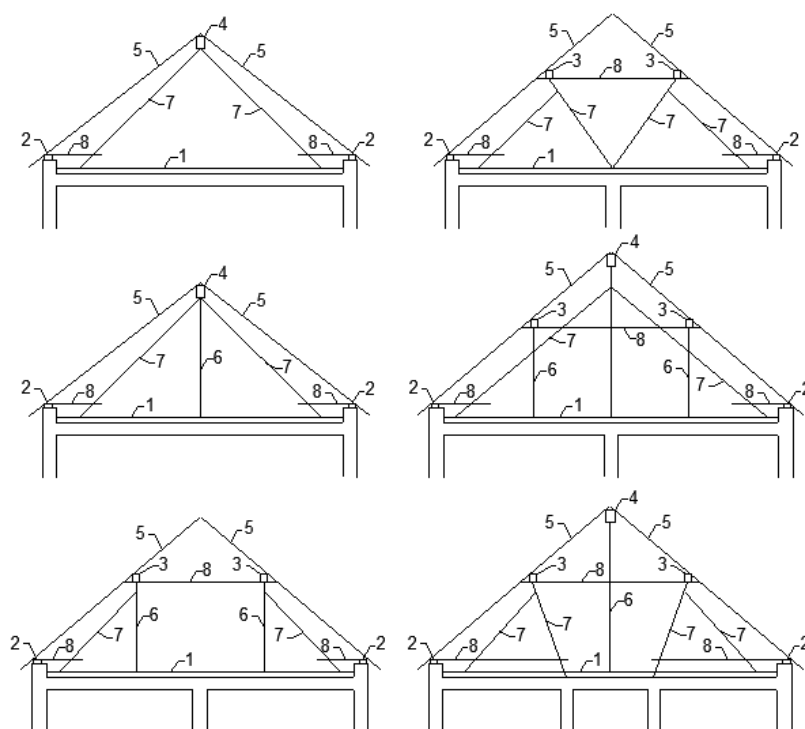
Obrázek 2.3 – klasický hambalkový krov



Obrázek 2.4 – hambalkový krov s vrcholovou vaznicí nad řešeným půdorysem

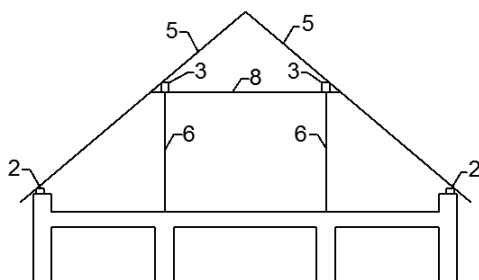
2.2 Vaznicový krov

Oproti hambalkovému krovu má menší průhyby i rozměry prvků jsou menší a tudíž by se měl používat přednostně. Jeho výroba je také snadnější. Na obrázku 2.5 jsou ukázky klasických vaznicových krovů. U novodobých krovů, obrázek 2.6, se vypouští vazní trámy, vzpěry a dolní kleštiny, aby se mohl co nejvíce využívat podstřešní prostor [1].



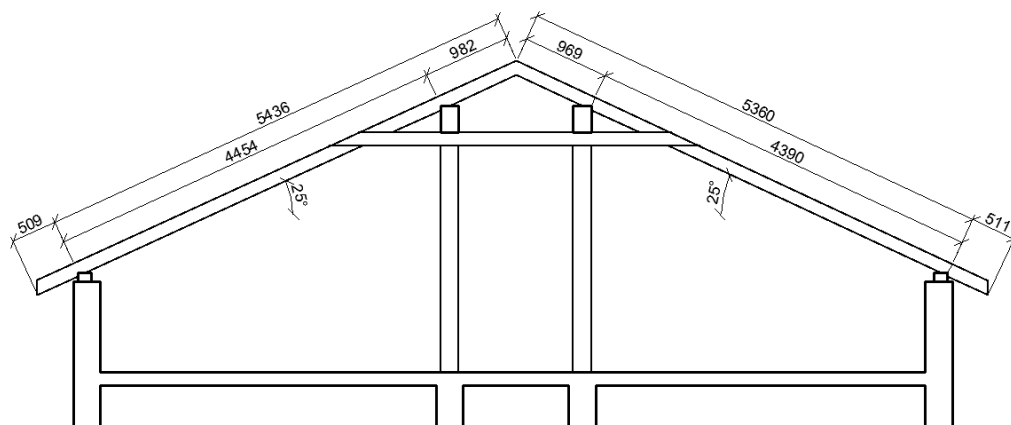
1 - VAZNÍ TRÁM, 2 - POZEDNICE, 3 - STŘEDNÍ VAZNICE, 4 - VRCHOLOVÁ VAZNICE
5 - KROKEV, 6 - SLOUPEK, 7 - VZPĚRA, 8 - KLEŠTINY

Obrázek 2.5 – ukázka klasických vaznicových krovů



Obrázek 2.6 novodobý vaznicový krov

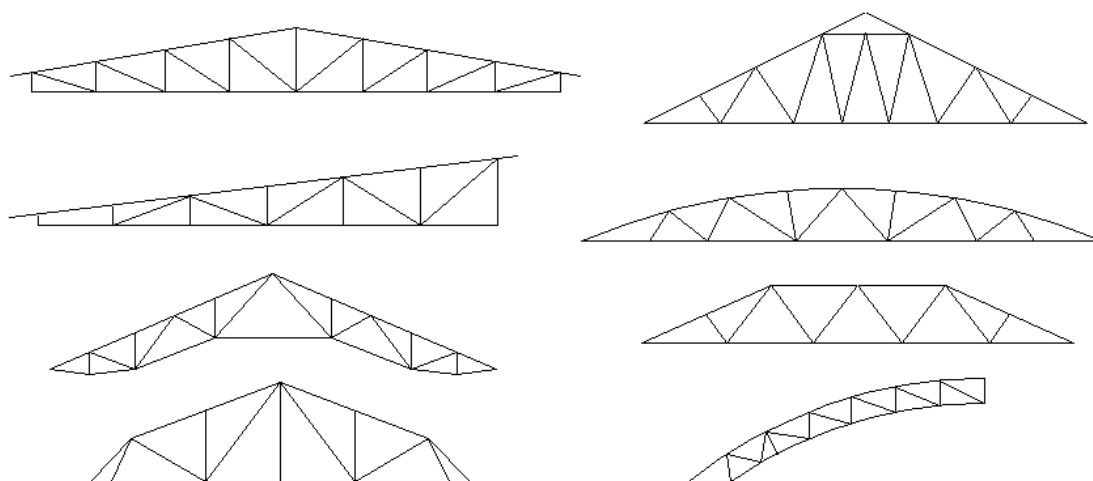
V případě použití tohoto typu krovu nad daným půdorysem, obrázek 2.6, by musely být sloupky relativně blízko u sebe, což je dáno vnitřní dispozicí. Další problém by byl v přerušení pravé vaznice, která probíhá v místě komínu. Za komínem již nepokračuje nosná zeď a sloupek by bylo složitější ukotvit.



Obrázek 2.6 – vaznicový krov nad řešeným půdorysem

2.3 Příhradový vazník

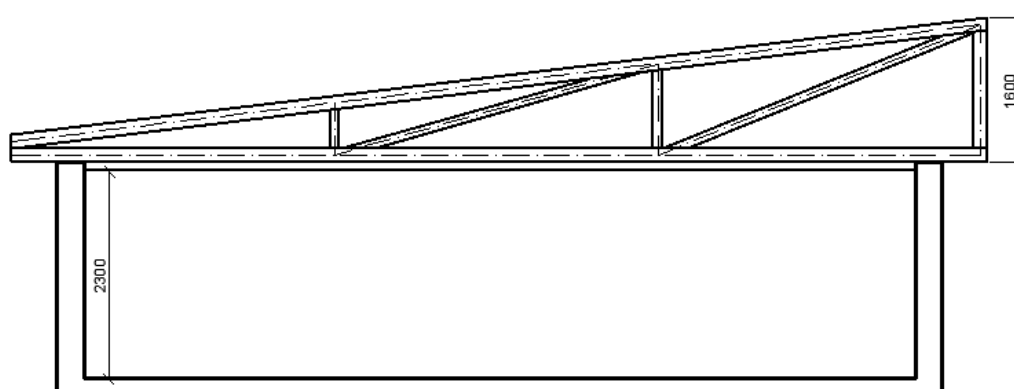
Použitím příhradového vazníku lze překlenout velká rozpětí a mohou mít také různý tvar, příklady několika tvarů jsou na obrázku 2.7. Výhodou je také nízká spotřeba dřeva i spojovacích prostředků a snadnější montáž na staveništi. Pro výrobu vazníků se používá hlavně fošnové dřevo. Spoje styčníků bývají nejčastěji provedeny pomocí desek s prolisovanými trny, takto provedené vazníky se vyrobí ve výrobě, kde se desky do styčníků lisují pomocí velkotonážního lisu. Dále mohou být příhradové vazníky sbíjené, lepené, s ocelovými kolíky nebo svorníky.



Obrázek 2.7 – ukázky příhradových vazníků

U dřevěných příhradových vazníků lze bez střední podpory překlenout až 30m. Dále je vhodné, aby zatížení působilo jen ve styčnicích, pak budou jednotlivé pruty namáhány jen normálovými silami.

V případě mého daného půdorysu by mohl příhradový vazník vypadat jako na obrázku 2.8. U tohoto řešení je ale nutné udělat vysokou nadezdívku, aby se dalo podkroví obývat a jelikož je dům ve svahu, byl by z jedné strany vysoký, což by bylo neestetické



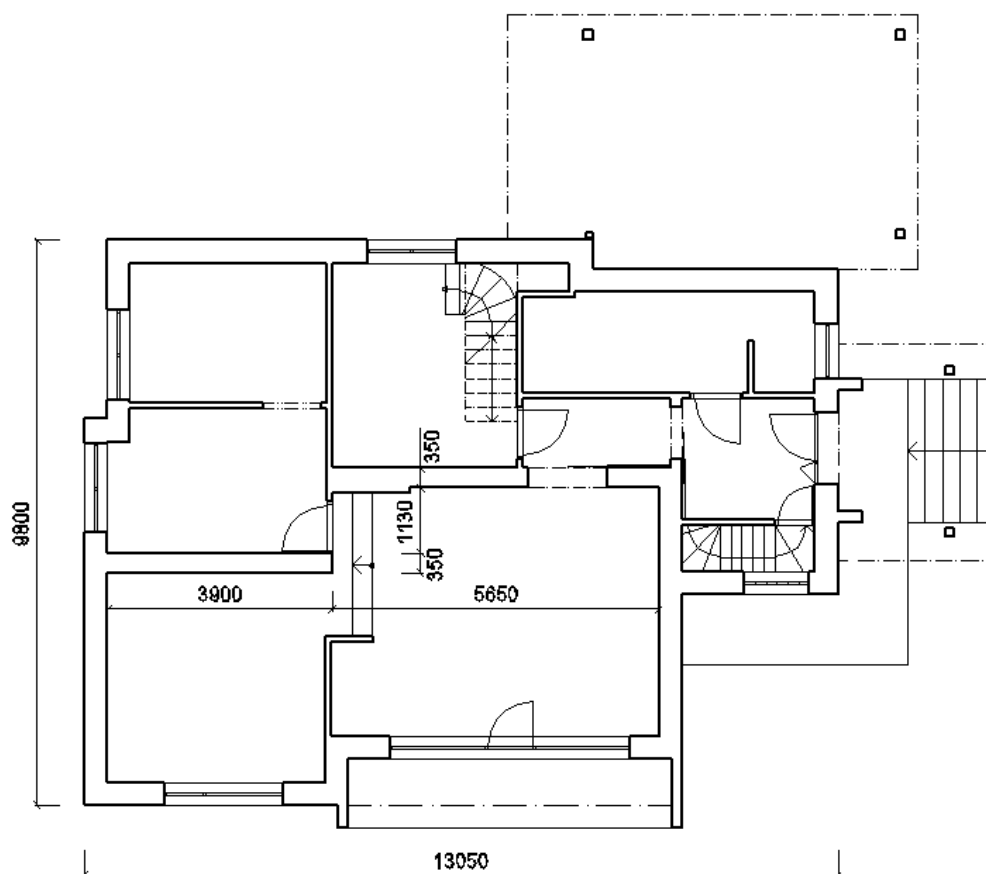
Obrázek 2.8 – příklad řešení pomocí příhradového vazníku

3. Statické schéma

Pro výpočet vnitřních sil se používají lineární modely [2]. Podepření ve vrcholu krokví a podepření krokví na zdech se považuje za posuvné, vodorovným posunům je zabráněno

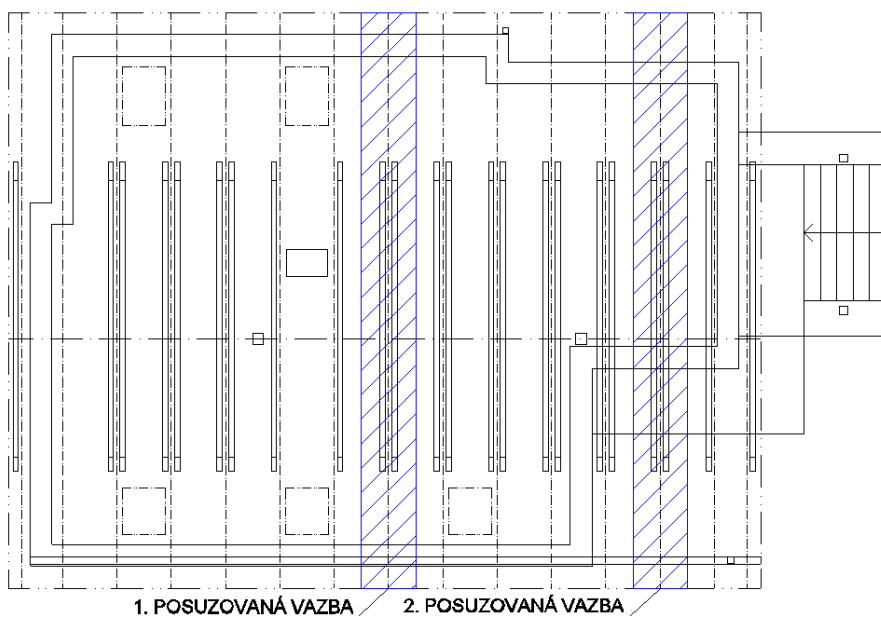
v hambálku, což zajistí velká tuhost OSB desky ve vodorovné rovině. Důležité je její ukotvení do štítových zdí.

Umístění sloupků, které podpírají vrcholovou vaznici, je dáno půdorysným umístěním zdí, pod kterými jsou základy. Půdorys prvního nadzemního podlaží, nad kterým bude postaven krov je na obrázku 2.9.

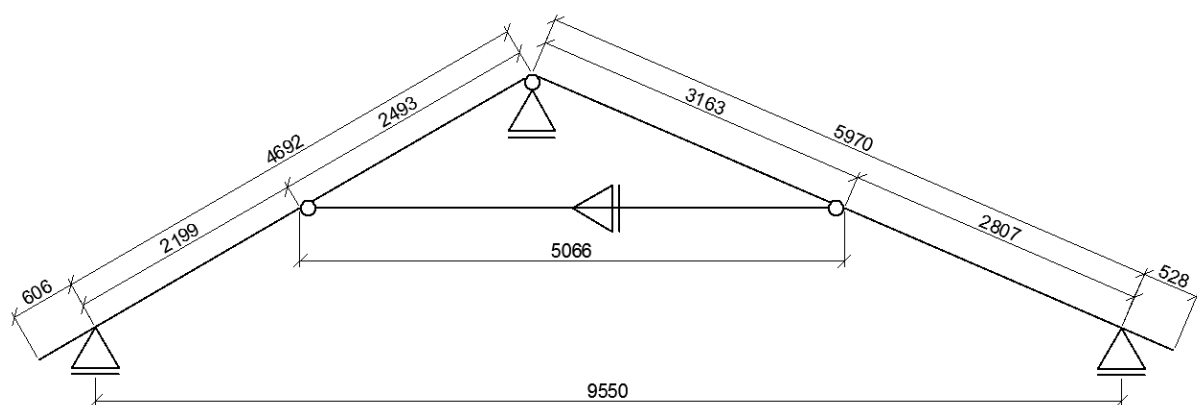


Obrázek 2.9 – půdorys rodinného domu

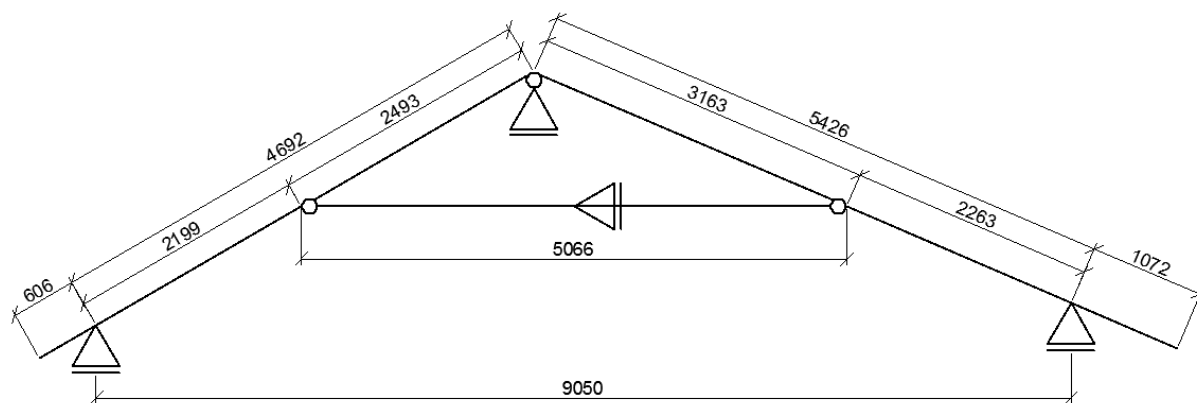
V krovu jsou důležité dvě vazby, které jsou zobrazeny na obrázku 2.10. První vazba celá probíhá nad vnitřním prostorem, obrázek 2.11. Druhá, která se nachází z poloviny nad venkovním prostorem a její pravá podpora je posunutá, obrázek 2.12.



Obrázek 2.10 – posuzované vazby krovu



Obrázek 2.11 – statické schéma krovu – první vazba



Obrázek 2.12 – statické schéma krovu – druhá vazba

4. Zatížení krovu

Výpočet zatížení byl proveden pomocí MS Excel dle norem řady ČSN EN 1991 [3].

4.1 Stálé zatížení

Stálé zatížení jednotlivých prvků je uvedeno v tabulkách 4.1 až 4.3. Vlastní tíha krokví a kleštin se nezadáva jako stálé zatížení, ale jako vlastní tíha, kterou si program Scia Engineer vypočte sám, dle zadaných profilů. Stálé zatížení krokví a kleštin je zobrazeno na obrázcích

4.1

a

4.2.

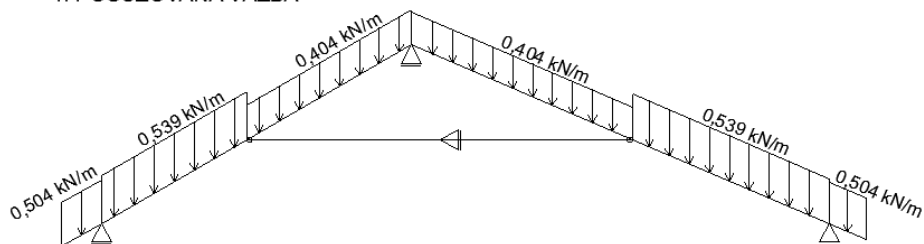
LATĚ						
vrstva	šířka	výška	objemová tíha	plošná tíha	roznášecí šířka b_r	charakteristická hodnota zatížení g_k
	[m]	[m]	[kNm ⁻³]	[kNm ⁻²]	[m]	[kNm ⁻¹]
laťování na levé straně střechy						
taška Bramac				0,375	0,400	0,150
vlastní tíha latě	0,050	0,030	5,000			0,008
celkem					$\sum g_k =$	0,158
laťování na pravé straně střechy						
taška Bramac				0,375	0,370	0,139
vlastní tíha latě	0,050	0,030	5,000			0,008
celkem					$\sum g_k =$	0,146

Tabulka 4.1 – Stálé zatížení latí

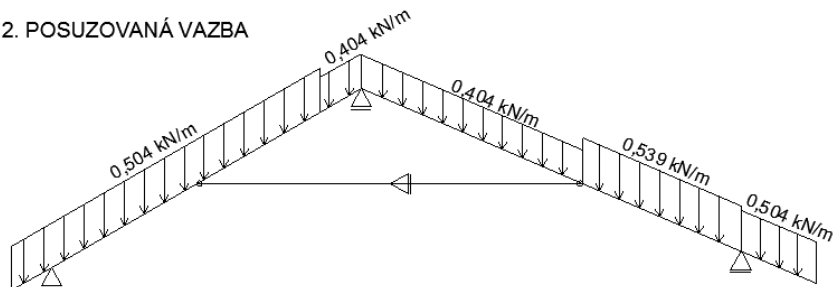
KROKVE								
vrstva	šířka	výška	osová vzdálenost	objemová tíha	plošná tíha	tíha na lbm	roznášecí šířka b _r	charakteristická hodnota zatížení g _k
	[m]	[m]	[m]	[kNm ⁻³]	[kNm ⁻²]	[kNm ⁻¹]	[m]	[kNm ⁻¹]
část s tepelnou izolací								
taška Bramac					0,375		1,000	0,375
latě	0,050	0,030	0,370	5,000			1,000	0,020
kontralatě	0,050	0,030		5,000				0,008
pojistná izolace					0,001		1,000	0,001
tepelná izolace mezi krokve		0,150		0,145			1,000	0,022
tepelná izolace pod krokve		0,050		0,145			1,000	0,007
parozábrana					0,001		1,000	0,001
nosný rošt			0,500			0,005	1,000	0,011
sádrokarton		0,013		7,500			1,000	0,094
celkem							Σ g _k =	0,539
vrcholová část bez tepelné izolace								
taška Bramac					0,375		1,000	0,375
latě	0,050	0,030	0,370	5,000			1,000	0,020
kontralatě	0,050	0,030		5,000				0,008
pojistná izolace					0,001		1,000	0,001
celkem							Σ g _k =	0,404
okapová část bez tepelné izolace								
taška Bramac					0,375		1,000	0,375
latě	0,050	0,030	0,370	5,000			1,000	0,020
kontralatě	0,050	0,030		5,000				0,008
pojistná izolace					0,001		1,000	0,001
palubky		0,020		5,000			1,000	0,100
celkem							Σ g _k =	0,504

Tabulka 4.2 – Stálé zatížení krokví

1. POSUZOVANÁ VAZBA



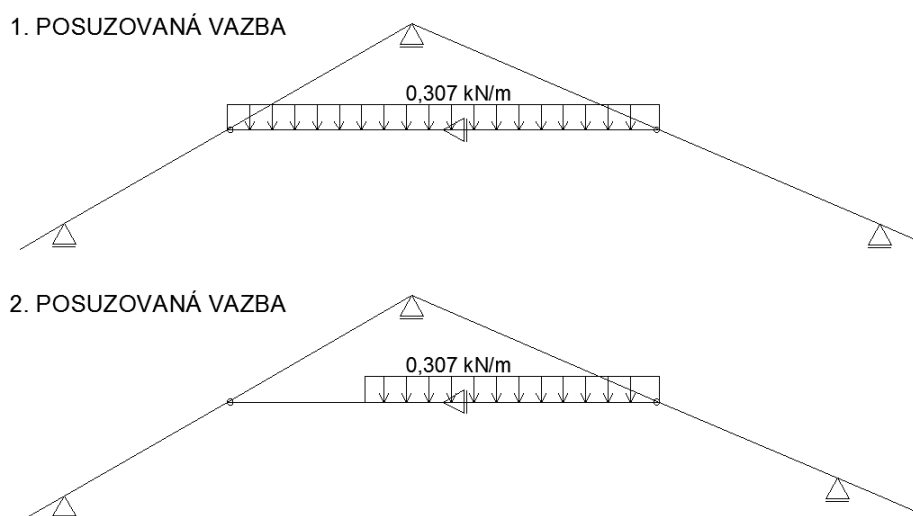
2. POSUZOVANÁ VAZBA



Obrázek 4.1 – Stálé zatížení krokvi

KLEŠTINY							
vrstva	výška	osová vzdálenost	objemová tíha	plošná tíha	tíha na 1bm	roznášecí šířka b_r	charakteristická hodnota zatížení g_k
	[m]	[m]	[kNm ⁻³]	[kNm ⁻²]	[kNm ⁻¹]	[m]	[kNm ⁻¹]
OSB desky	0,025		6,800			1,000	0,170
parozábrana				0,001		1,000	0,001
tepelná izolace mezi kleštiny	0,150		0,145			1,000	0,022
tepelná izolace pod kleštiny	0,050		0,145			1,000	0,007
parozábrana				0,001		1,000	0,001
nosný rošt		0,500			0,005	1,000	0,011
sádrokarton	0,013		7,500			1,000	0,094
celkem						$\sum g_k =$	0,307

Tabulka 4.3 – Stálé zatížení kleštín



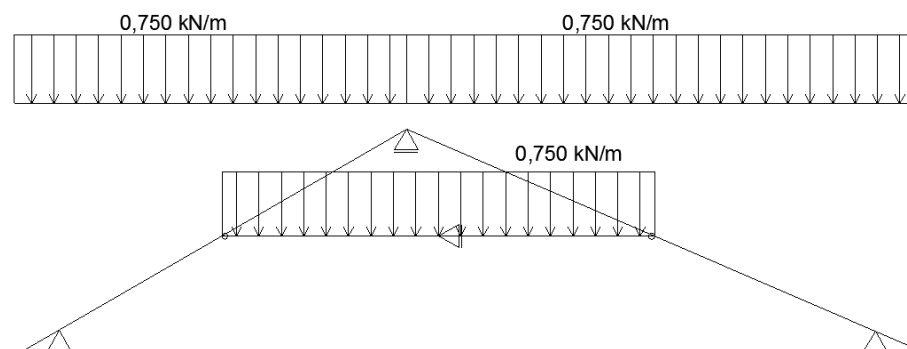
Obrázek 4.2 – Stálé zatížení kleštin

4.2 Užitné zatížení

Střecha byla zařazena do kategorie H, což jsou nepřístupné střechy s výjimkou běžné údržby. V případě půdy se uvažuje s užitným zatížením $0,75 \text{ kNm}^{-2}$. Hodnoty zatížení pro jednotlivé prvky jsou uvedeny v tabulce 4.4. Užitné zatížení je pro obě vazby stejné a je zakresleno na obrázku 4.3.

zařazení	plošná tíha [kNm^{-2}]	roznášecí šířka b_r [m]	sklon střechy	charakteristická hodnota zatížení g_k [kNm^{-1}]	osamělé břemeno [kN]
krokve - kategorie H	0,750	1,000		0,750	
kleštiny - půda	0,750	1,000		0,750	
latě na levé straně střechy	0,750	0,400	30°	0,260	1,000
latě na pravé straně střech	0,750	0,370	23°	0,255	1,000

Tabulka 4.4



Obrázek 4.3

4.3 Nahodilé zatížení

Zatížení sněhem

Objekt se nachází v Orlové, která spadá do sněhové oblasti II. Typ krajiny byl vyhodnocen jako normální, který charakterizuje plochy, kde nedochází na stavbách k výraznému přemístění sněhu. Parametry pro výpočet zatížení sněhem byly stanoveny dle normy ČSN EN 1991-1-3 [4] a jsou uvedeny v tabulce 4.5.

sněhová oblast:	II	
typ krajiny:	normální	
sklon střechy α_1 :	$\alpha_1 =$	30 °
sklon střechy α_2 :	$\alpha_2 =$	23 °
součinitel expozice	$C_e =$	1,000
tepelný součinitel	$C_t =$	1,000 Wm ⁻² K ⁻¹
charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi	$s_k =$	1,050 kNm ⁻²
tvarový součinitel zatížení sněhem	$\mu_{1,\alpha 1} =$	0,800
tvarový součinitel zatížení sněhem	$\mu_{1,\alpha 2} =$	0,800

Tabulka 4.5 – parametry pro výpočet zatížení sněhem

Charakteristické hodnoty zatížení pro jednotlivé zatěžovací stavy:

$$s_{1,k} = \mu_{1,\alpha 1} \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,800 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,050 = 0,840 \text{ kNm}^{-2}$$

$$s_{2,k} = 0,5 \cdot \mu_{1,\alpha 1} \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,5 \cdot 0,800 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,050 = 0,420 \text{ kNm}^{-2}$$

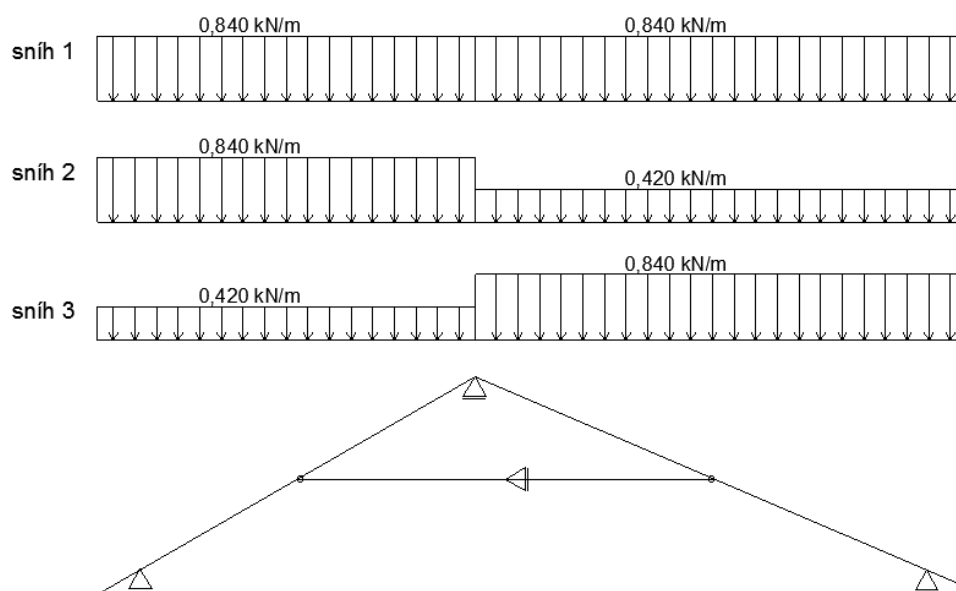
$$s_{3,k} = \mu_{1,\alpha 2} \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,800 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,050 = 0,840 \text{ kNm}^{-2}$$

$$s_{4,k} = 0,5 \cdot \mu_{1,\alpha 2} \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,5 \cdot 0,800 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,050 = 0,420 \text{ kNm}^{-2}$$

Charakteristické hodnoty zatížení pro jednotlivé posuzované prvky krovu jsou uvedeny v tabulce 4.6. Zatěžovací stavy pro vazby krovu jsou na obrázku 4.4 a jsou na obou vazbách stejné.

prvek	plošná tíha [kNm ⁻²]	roznášecí šířka b_r [m]	sklon střechy	charakteristická hodnota zatížení s_k [kNm ⁻¹]
latě na levé straně střechy	0,840	0,400	30°	0,291
latě na pravé straně střechy	0,840	0,370	23°	0,286
krokve s_1	0,840	1,000		0,840
krokve s_2	0,420	1,000		0,420
krokve s_3	0,840	1,000		0,840
krokve s_4	0,420	1,000		0,420

Tabulka 4.6 – Zatížení sněhem



Obrázek 4.4 – Zatěžovací stavy sněhem

Zatížení větrem

Objekt byl na základě mapy větrných oblastí zařazen do větrné oblasti II. Terén spadá do kategorie III, která charakterizuje oblast pravidelně pokrytou vegetací, budovami nebo překážkami.

Směr větru byl uvažovaný zleva, zprava a kolmo na štítovou stěnu. Tlak větru na spodní straně přečnívajících částí střechy je uvažován dle normy ČSN EN 1991-1-4 [5] roven tlaku větru na příslušné stěně.

Vzhledem k tomu, že se objekt nachází ve svahu, byly ve výpočtu uvažovány dvě referenční výšky. Referenční výška na levé straně je 10m a na pravé straně 8,4m. Ve výpočtu tlaku větru působícího kolmo na štítovou stěnu se počítá s referenční výškou 10m, při které vychází větší tlak větru.

a) Vítr fouká zleva

Parametry pro výpočet tlaku větru jsou uvedeny v tabulce 4.7.

kategorie terénu:	III - oblast pravidelně pokrytá vegetací, budovami nebo překážkami
větrná oblast:	II
výška budovy:	10 m
šířka budovy:	10,6 m
délka budovy:	13,85 m
vítr fouká z:	levé strany
součinitel větru	$c_{dir} = 1$
součinitel ročního období	$c_{season} = 1$
rychlost větru	$v_{b,0} = 26 \text{ ms}^{-1}$
referenční výška	$z_e = 10 \text{ m}$
referenční výška	$z_i = 10 \text{ m}$
referenční výška	$z = 10 \text{ m}$
parametr drsnosti terénu	$z_0 = 0,3 \text{ m}$
minimální výška	$z_{min} = 5 \text{ m}$
maximální výška	$z_{max} = 200 \text{ m}$
	$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$
hustota vzduchu	$\rho = 1,25 \text{ kgm}^{-3}$
součinitel ortografie	$c_0(z) = 1$
součinitel turbulence	$k_I = 1$

Tabulka 4.7 – Parametry pro výpočet zatížení větrem

Výpočet zatížení větrem

základní rychlost větru: $v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 26 = 26 \text{ ms}^{-1}$

součinitel terénu: $k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$

součinitel drsnosti: $pro\ z_{min} \leq z \leq z_{max} \rightarrow 5 \leq 10 \leq 200$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0} = 0,215 \cdot \ln \frac{10}{0,3} = 0,755$$

charakteristická střední rychlost: $v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b$

$$v_m(z) = 0,755 \cdot 1 \cdot 26 = 19,637\ ms^{-1}$$

intenzita turbulence: $pro\ z_{min} \leq z \leq z_{max} \rightarrow 5 \leq 10 \leq 200$

$$I_v(z) = \frac{k_l}{c_0(z) \cdot \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1}{1 \cdot \ln \frac{10}{0,3}} = 0,285$$

součinitel expozice: $c_e(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot c_0(z)^2 \cdot c_r(z)^2$

$$c_e(z) = [1 + 7 \cdot 0,285] \cdot 1^2 \cdot 0,755^2 = 1,709$$

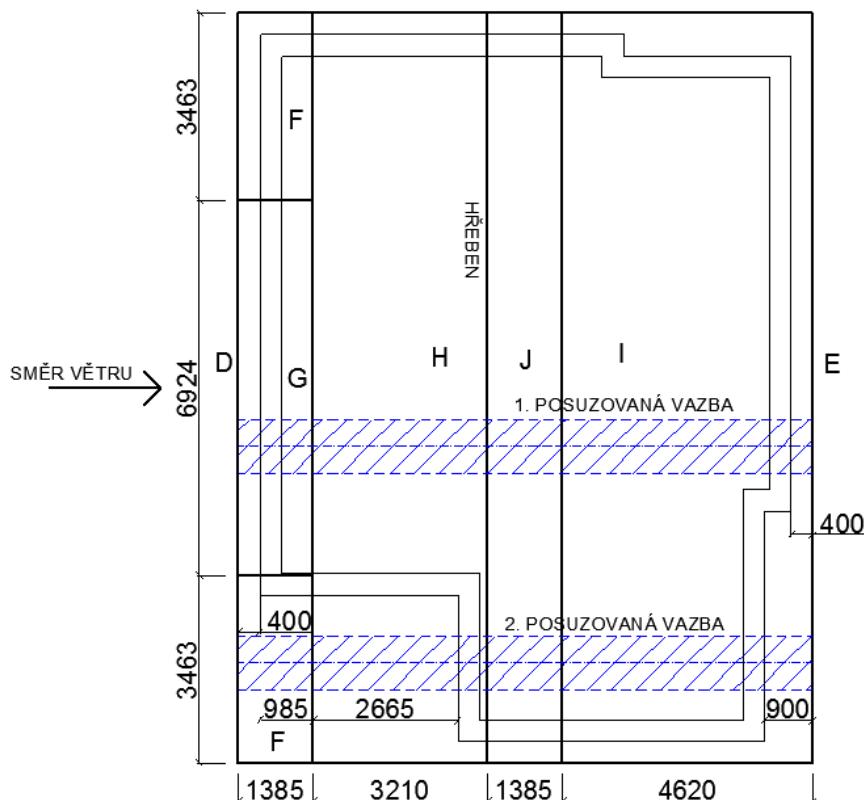
základní tlak větru: $q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 10^{-3} \cdot 26^2 = 0,423$

maximální charakteristický tlak: $q_p = c_e(z) \cdot q_b = 1,709 \cdot 0,423 = 0,722\ Pa$

hodnoty vnitřních součinitelů tlaku: $c_{pi}^+ = 0,2$

$$c_{pi}^- = -0,3$$

V tabulkách 4.8 až 4.9 je uveden výpočet tlaků větru pro jednotlivé oblasti, které jsou nakresleny na obrázku 4.5. Na obrázku 4.6 jsou zobrazeny zatěžovací stavy pro první posuzovanou vazbu a na obrázku 4.7 pro druhou posuzovanou vazbu.



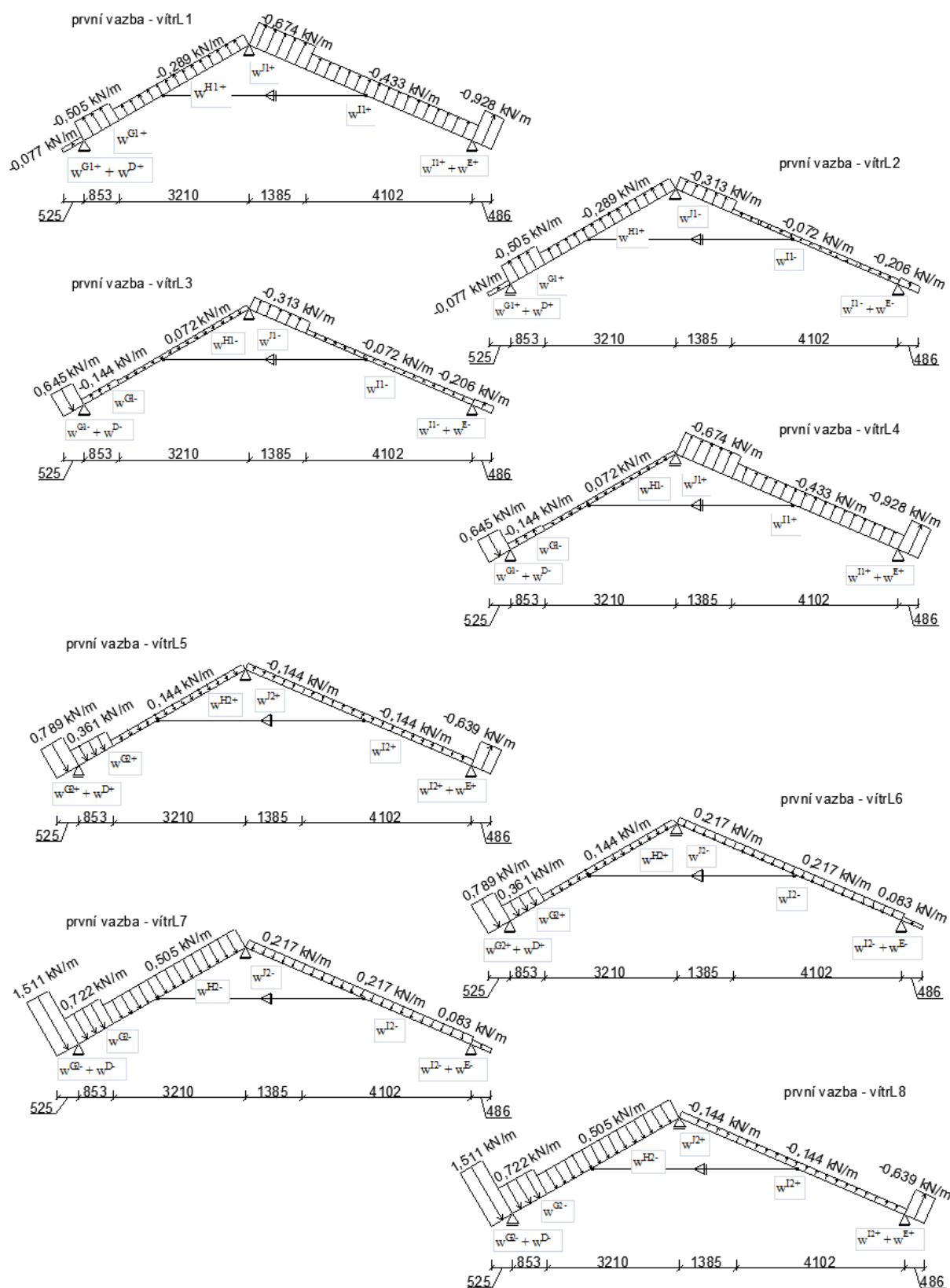
Obrázek 4.5 – oblasti tlaků větru pro směr větru zleva

SVISLÉ STĚNY		
vítr fouká kolmo na hřeben zleva		
vnější součinitel tlaku	tlak větru	
	$w^{i+} = q_p \cdot (c_{pe,10}^i - c_{pi}^+)$	$w^{i-} = q_p \cdot (c_{pe,10}^i - c_{pi}^-)$
$c_{pe,10}^A = -1,200$	$w^{A+} = -1,011 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{A-} = -0,650 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^B = -1,355$	$w^{B+} = -1,123 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{B-} = -0,762 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^C = -0,500$	$w^{C+} = -0,505 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{C-} = -0,144 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^D = 0,792$	$w^{D+} = 0,428 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{D-} = 0,789 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^E = -0,485$	$w^{E+} = -0,495 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{E-} = -0,134 \text{ kNm}^{-2}$
vítr fouká rovnoběžně s hřebenem		
vnější součinitel tlaku	tlak větru	
	$w^{i+} = q_p \cdot (c_{pe,10}^i - c_{pi}^+)$	$w^{i-} = q_p \cdot (c_{pe,10}^i - c_{pi}^-)$
$c_{pe,10}^A = -1,200$	$w^{A+} = -1,011 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{A-} = -0,650 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^B = -1,178$	$w^{B+} = -0,995 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{B-} = -0,634 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^C = -0,500$	$w^{C+} = -0,505 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{C-} = -0,144 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^D = 0,763$	$w^{D+} = 0,407 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{D-} = 0,768 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^E = -0,426$	$w^{E+} = -0,452 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{E-} = -0,091 \text{ kNm}^{-2}$

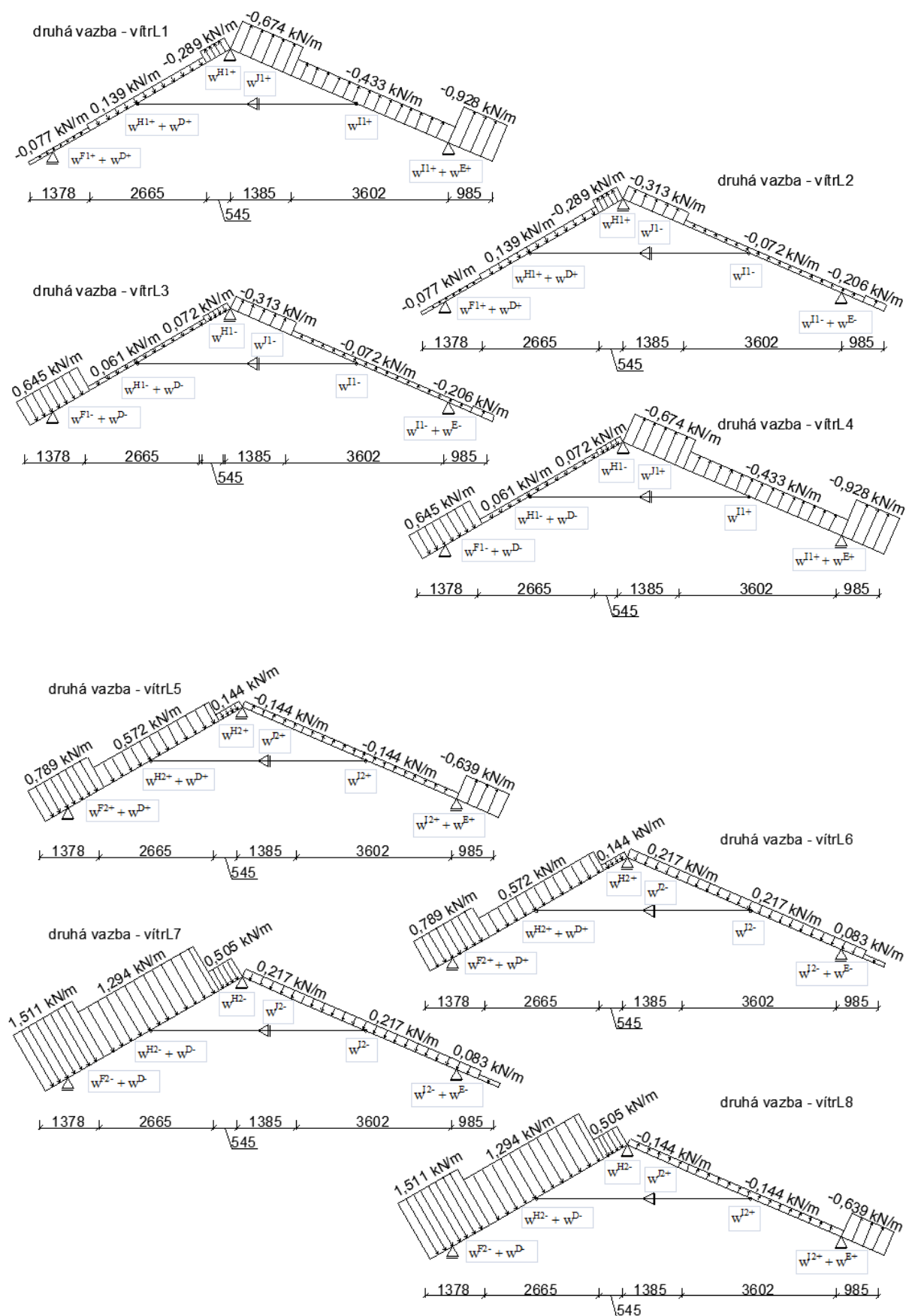
Tabulka 4.8 – Tlak větru na svislé stěny

STŘECHA		
vítr fouká kolmo na hřeben zleva		
vnější součinitel tlaku	tlak větru	
	$w^{i1+} = q_p \cdot (c_{pe,10}^{i1} - c_{pi}^+)$	$w^{i1-} = q_p \cdot (c_{pe,10}^{i1} - c_{pi}^-)$
$c_{pe,10}^{F1} = -0,500$	$w^{F1+} = -0,505 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{F1-} = -0,144 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^{G1} = -0,500$	$w^{G1+} = -0,505 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{G1-} = -0,144 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^{H1} = -0,200$	$w^{H1+} = -0,289 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{H1-} = 0,072 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^{I1} = -0,400$	$w^{I1+} = -0,433 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{I1-} = -0,072 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^{J1} = -0,733$	$w^{J1+} = -0,674 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{J1-} = -0,313 \text{ kNm}^{-2}$
	$w^{i2+} = q_p \cdot (c_{pe,10}^{i2} - c_{pi}^+)$	$w^{i2-} = q_p \cdot (c_{pe,10}^{i2} - c_{pi}^-)$
$c_{pe,10}^{F2} = 0,700$	$w^{F2+} = 0,361 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{F2-} = 0,722 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^{G2} = 0,700$	$w^{G2+} = 0,361 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{G2-} = 0,722 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^{H2} = 0,400$	$w^{H2+} = 0,144 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{H2-} = 0,505 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^{I2} = 0,000$	$w^{I2+} = -0,144 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{I2-} = 0,217 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^{J2} = 0,000$	$w^{J2+} = -0,144 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{J2-} = 0,217 \text{ kNm}^{-2}$

Tabulka 4.9 – Tlak větru na střechu

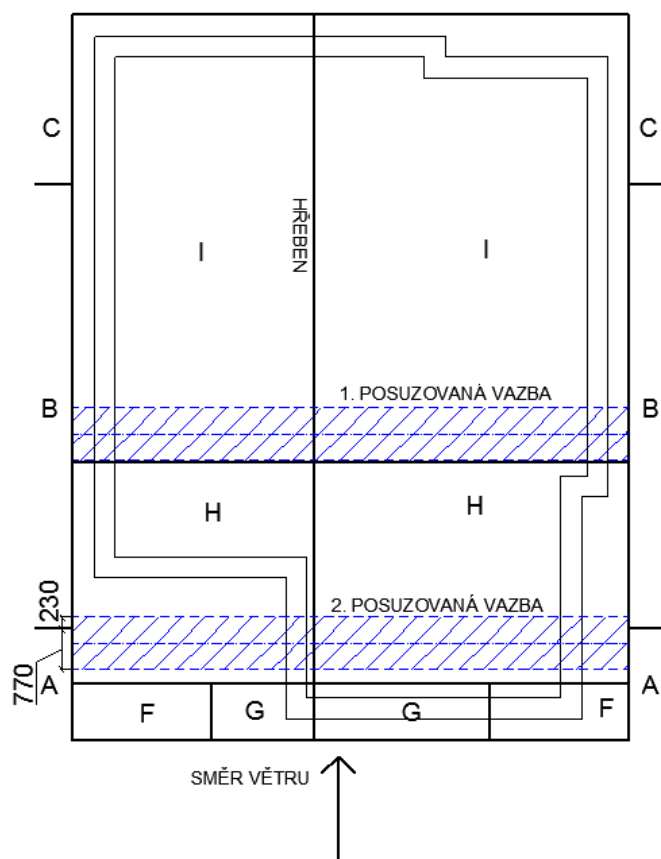


Obrázek 4.6 – zatěžovací stavy pro vítr zleva pro první vazbu



Obrázek 4.7 – zatěžovací stavy pro vítr zleva pro druhou vazbu

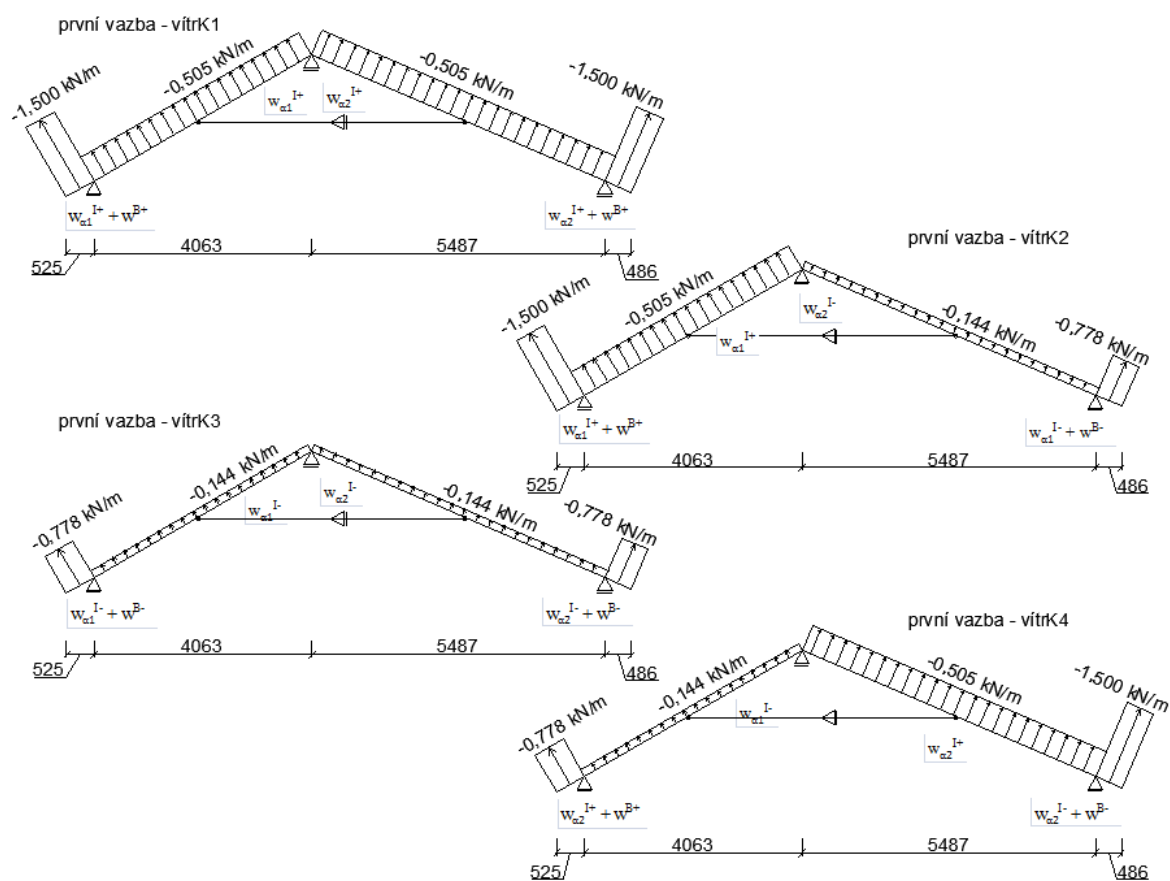
V tabulce 4.10 je výpočet tlaků větru při směru větru rovnoběžně s hřebenem. Jednotlivé oblasti tlaků větru jsou na obrázku 4.8 a na obrázcích 4.9 a 4.10 jsou nakresleny zatěžovací stavy pro směr větru rovnoběžně s hřebenem pro první a druhou vazbu.



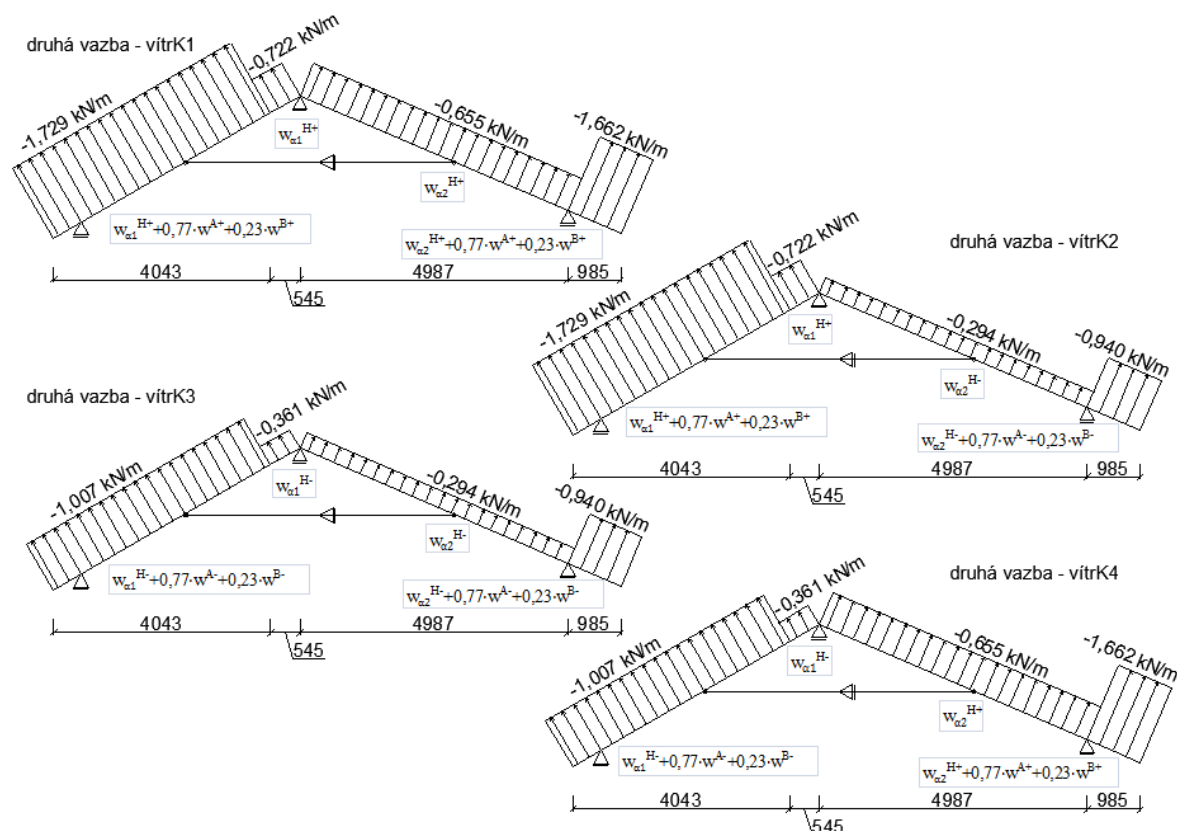
Obrázek 4.8 – oblasti pro směr větru rovnoběžně s hřebenem

STŘECHA			
vítr fouká rovnoběžně s hřebenem			
vnější součinitel tlaku	tlak větru		
$\alpha = 30^\circ$			
	$w^{i+} = q_p \cdot (c_{pe,10}^i - c_{pi}^+)$	$w^{i-} = q_p \cdot (c_{pe,10}^i - c_{pi}^-)$	
$c_{pe,10}^F = -1,100$	$w^{F+} = -0,939 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{F-} = -0,578 \text{ kNm}^{-2}$	
$c_{pe,10}^G = -1,400$	$w^{G+} = -1,155 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{G-} = -0,794 \text{ kNm}^{-2}$	
$c_{pe,10}^H = -0,800$	$w^{H+} = -0,722 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{H-} = -0,361 \text{ kNm}^{-2}$	
$c_{pe,10}^I = -0,500$	$w^{I+} = -0,505 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{I-} = -0,144 \text{ kNm}^{-2}$	
$\alpha = 23^\circ$			
	$w^{i+} = q_p \cdot (c_{pe,10}^i - c_{pi}^+)$	$w^{i-} = q_p \cdot (c_{pe,10}^i - c_{pi}^-)$	
$c_{pe,10}^F = -1,193$	$w^{F+} = -1,006 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{F-} = -0,645 \text{ kNm}^{-2}$	
$c_{pe,10}^G = -1,353$	$w^{G+} = -1,122 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{G-} = -0,761 \text{ kNm}^{-2}$	
$c_{pe,10}^H = -0,707$	$w^{H+} = -0,655 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{H-} = -0,294 \text{ kNm}^{-2}$	
$c_{pe,10}^I = -0,500$	$w^{I+} = -0,505 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{I-} = -0,144 \text{ kNm}^{-2}$	

Tabulka 4.10 – Tlak větru na střechu



Obrázek 4.9 – zatěžovací stavy pro vítr rovnoběžně s hřebenem pro první vazbu



Obrázek 4.10 – zatěžovací stavy pro vítr rovnoběžně s hřebenem pro druhou vazbu

b) Vítr fouká zprava

Parametry pro výpočet tlaku větru jsou uvedeny v tabulce 4.11.

kategorie terénu:	III - oblast pravidelně pokrytá vegetací, budovami nebo překážkami
větrná oblast:	II
výška budovy:	8,4 m
šířka budovy:	10,6 m
délka budovy:	13,85 m
vítr fouká z:	pravé strany
součinitel větru	$c_{dir} = 1$
součinitel ročního období	$c_{season} = 1$
rychlost větru	$v_{b,0} = 26 \text{ ms}^{-1}$
referenční výška	$z_e = 8,4 \text{ m}$
referenční výška	$z_i = 8,4 \text{ m}$
referenční výška	$z = 8,4 \text{ m}$
parametr drsnosti terénu	$z_0 = 0,3 \text{ m}$
minimální výška	$z_{min} = 5 \text{ m}$
maximální výška	$z_{max} = 200 \text{ m}$
	$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$
hustota vzduchu	$\rho = 1,25 \text{ kgm}^{-3}$
součinitel ortografie	$c_0(z) = 1$
součinitel turbulence	$k_l = 1$

Tabulka 4.11 – Parametry pro výpočet zatížení větrem

Výpočet zatížení větrem

základní rychlost větru: $v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 26 = 26 \text{ ms}^{-1}$

součinitel terénu: $k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$

součinitel drsnosti: $pro\ z_{min} \leq z \leq z_{max} \rightarrow 5 \leq 10 \leq 200$
 $c_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0} = 0,215 \cdot \ln \frac{8,4}{0,3} = 0,718$

charakteristická střední rychlost: $v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b$
 $v_m(z) = 0,718 \cdot 1 \cdot 26 = 18,661 \text{ ms}^{-1}$

intenzita turbulence: $pro\ z_{min} \leq z \leq z_{max} \rightarrow 5 \leq 10 \leq 200$
 $I_v(z) = \frac{k_l}{c_0(z) \cdot \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1}{1 \cdot \ln \frac{8,4}{0,3}} = 0,300$

součinitel expozice: $c_e(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot c_0(z)^2 \cdot c_r(z)^2$

$$c_e(z) = [1 + 7 \cdot 0,300] \cdot 1^2 \cdot 0,718^2$$

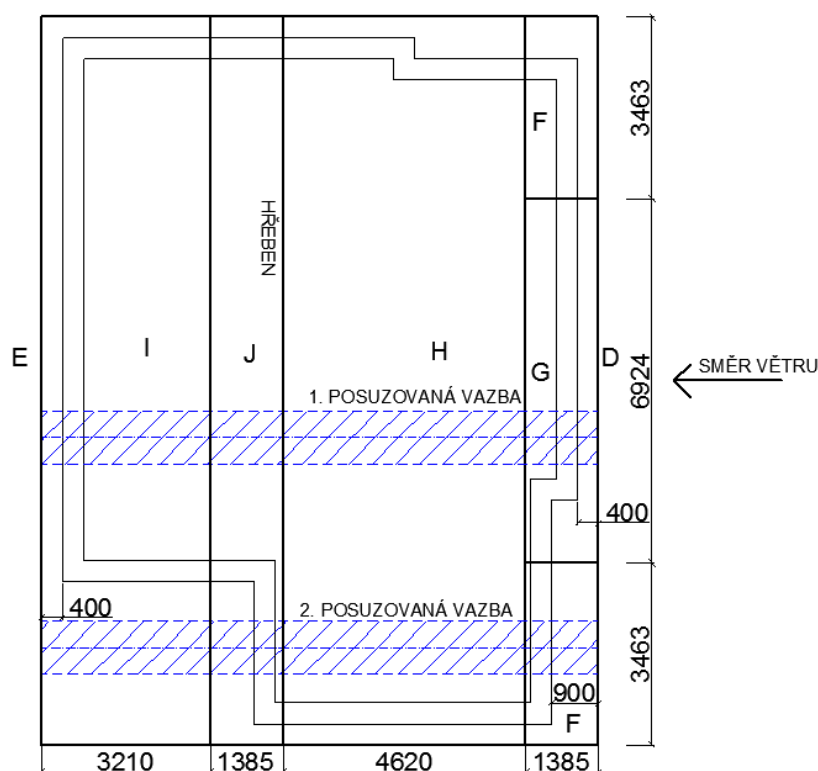
$$\text{základní tlak větru: } q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 10^{-3} \cdot 26^2 = 0,423 \text{ Pa}$$

$$\text{maximální charakteristický tlak: } q_p = c_e(z) \cdot q_b = 1,597 \cdot 0,423 = 0,675 \text{ Pa}$$

$$\text{hodnoty vnitřních součinitelů tlaku: } c_{pi}^+ = 0,2$$

$$c_{pi}^- = -0,3$$

V tabulce 4.12 a 4.13 jsou výpočty tlaků větru pro směr větru zprava, na obrázku 4.11 jsou nakresleny oblasti tlaků větru a na obrázcích 4.12 a 4.13 jsou zatěžovací stavy pro směr větru zprava pro jednotlivé vazby.



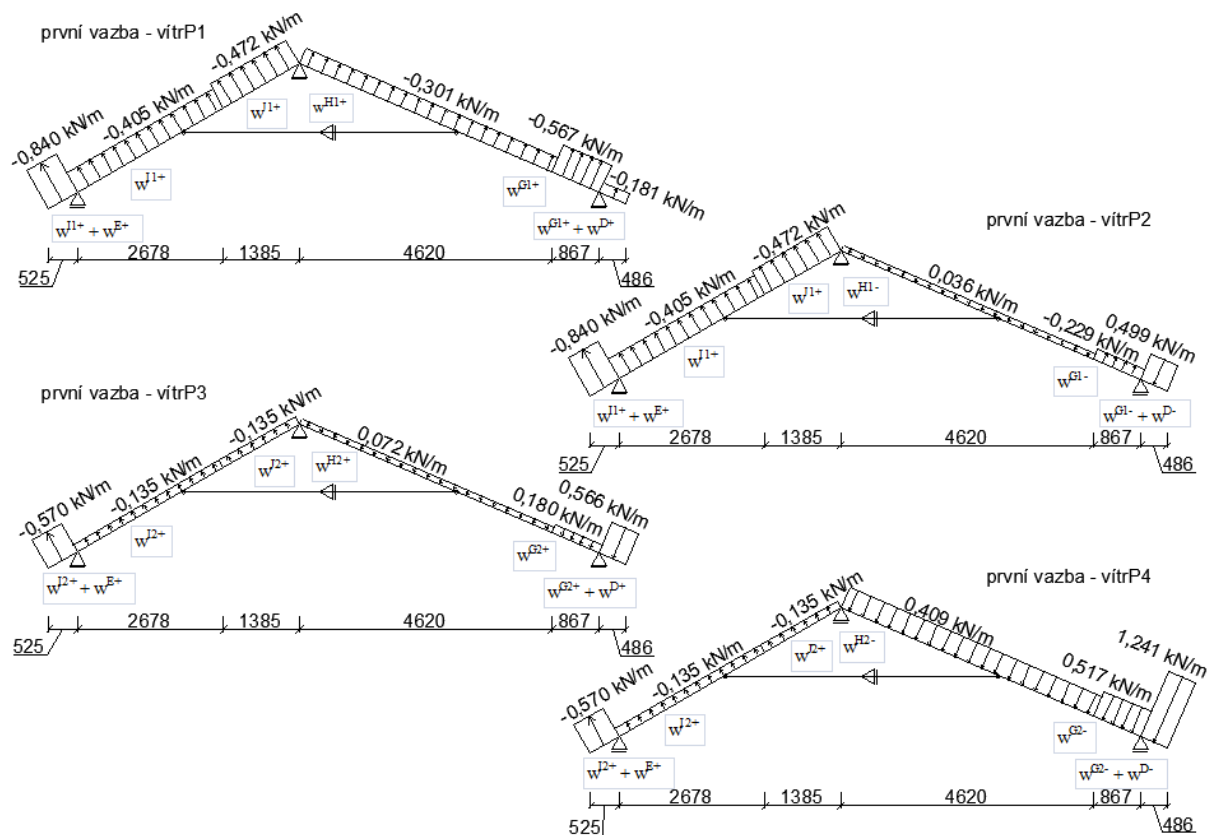
Obrázek 4.11 – oblasti tlaků větru pro vítr zprava

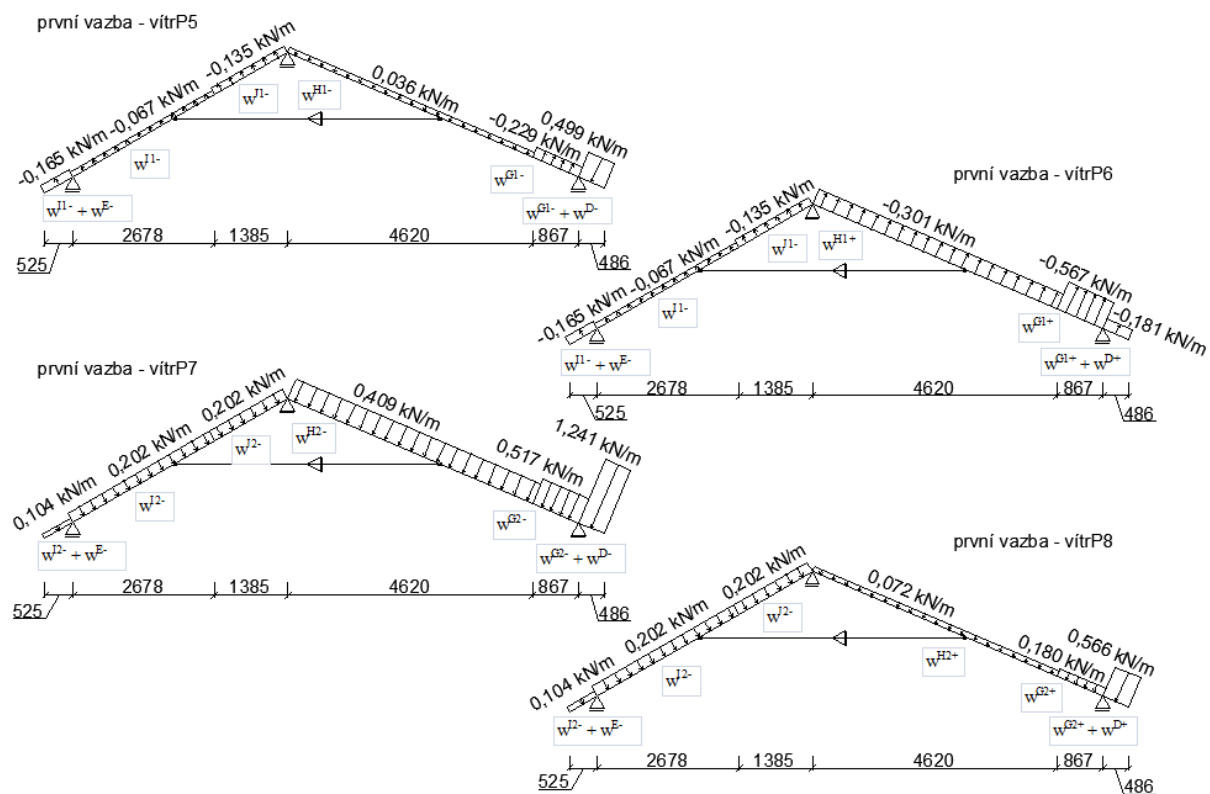
SVISLÉ STĚNY		
vítr fouká kolmo na hřeben zprava		
vnější součinitel tlaku	tlak větru	
	$w^{i+} = q_p \cdot (c_{pe,10}^i - c_{pi}^+)$	$w^{i-} = q_p \cdot (c_{pe,10}^i - c_{pi}^-)$
$c_{pe,10}^A = -1,200$	$w^{A+} = -0,945 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{A-} = -0,607 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^B = -1,234$	$w^{B+} = -0,968 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{B-} = -0,630 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^C = -0,500$	$w^{C+} = -0,472 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{C-} = -0,135 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^D = 0,772$	$w^{D+} = 0,386 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{D-} = 0,724 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^E = -0,445$	$w^{E+} = -0,435 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{E-} = -0,098 \text{ kNm}^{-2}$

Tabulka 4.12 – Tlak větru na svislé stěny

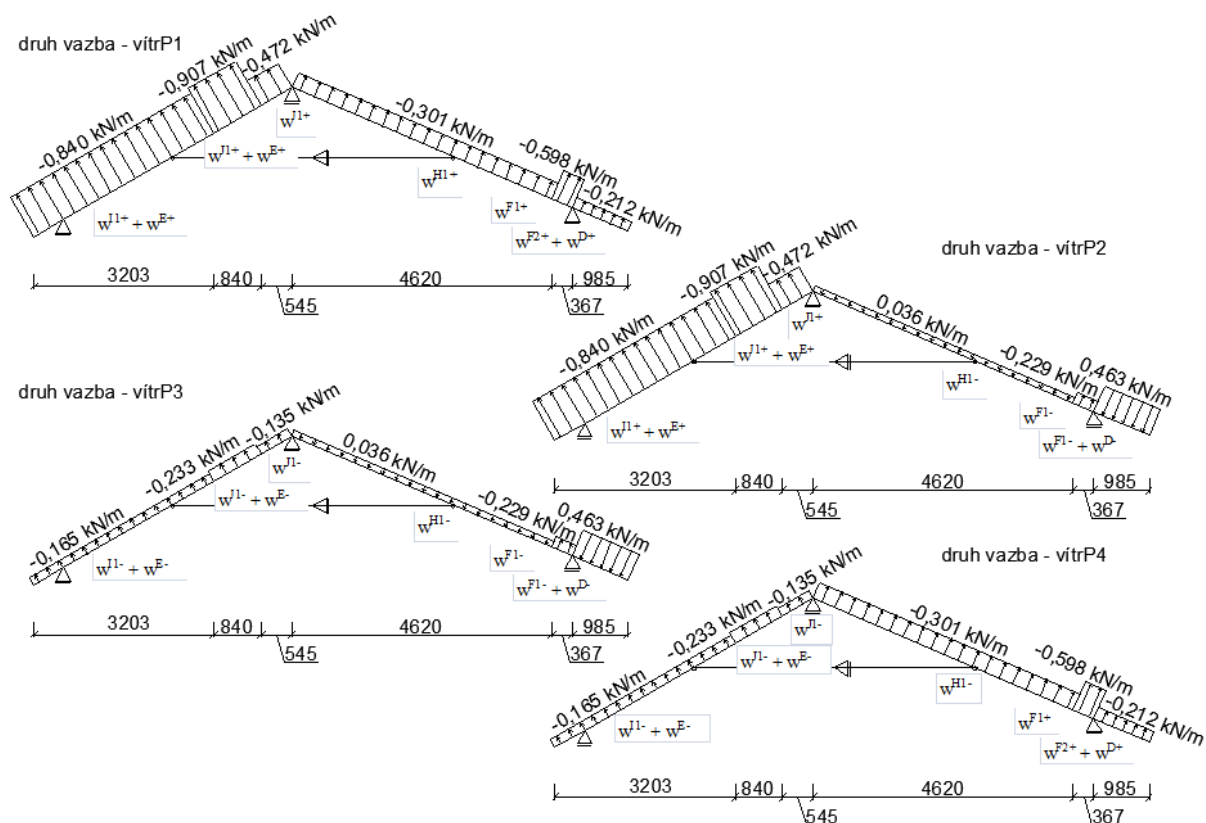
STŘECHA		
vítr fouká kolmo na hřeben z prava		
vnější součinitel tlaku	tlak větru	
	$w^{i1+} = q_p \cdot (c_{pe,10}^{i1} - c_{pi}^{+})$	$w^{i1-} = q_p \cdot (c_{pe,10}^{i1} - c_{pi}^{-})$
$c_{pe,10}^{F1} = -0,687$	$w^{F1+} = -0,598 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{F1-} = -0,261 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^{G1} = -0,640$	$w^{G1+} = -0,567 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{G1-} = -0,229 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^{H1} = -0,247$	$w^{H1+} = -0,301 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{H1-} = 0,036 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^{I1} = -0,400$	$w^{I1+} = -0,405 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{I1-} = -0,067 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^{J1} = -0,500$	$w^{J1+} = -0,472 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{J1-} = -0,135 \text{ kNm}^{-2}$
	$w^{i2+} = q_p \cdot (c_{pe,10}^{i2} - c_{pi}^{+})$	$w^{i2-} = q_p \cdot (c_{pe,10}^{i2} - c_{pi}^{-})$
$c_{pe,10}^{F2} = 0,467$	$w^{F2+} = 0,180 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{F2-} = 0,517 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^{G2} = 0,467$	$w^{G2+} = 0,180 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{G2-} = 0,517 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^{H2} = 0,307$	$w^{H2+} = 0,072 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{H2-} = 0,409 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^{I2} = 0,000$	$w^{I2+} = -0,135 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{I2-} = 0,202 \text{ kNm}^{-2}$
$c_{pe,10}^{J2} = 0,000$	$w^{J2+} = -0,135 \text{ kNm}^{-2}$	$w^{J2-} = 0,202 \text{ kNm}^{-2}$

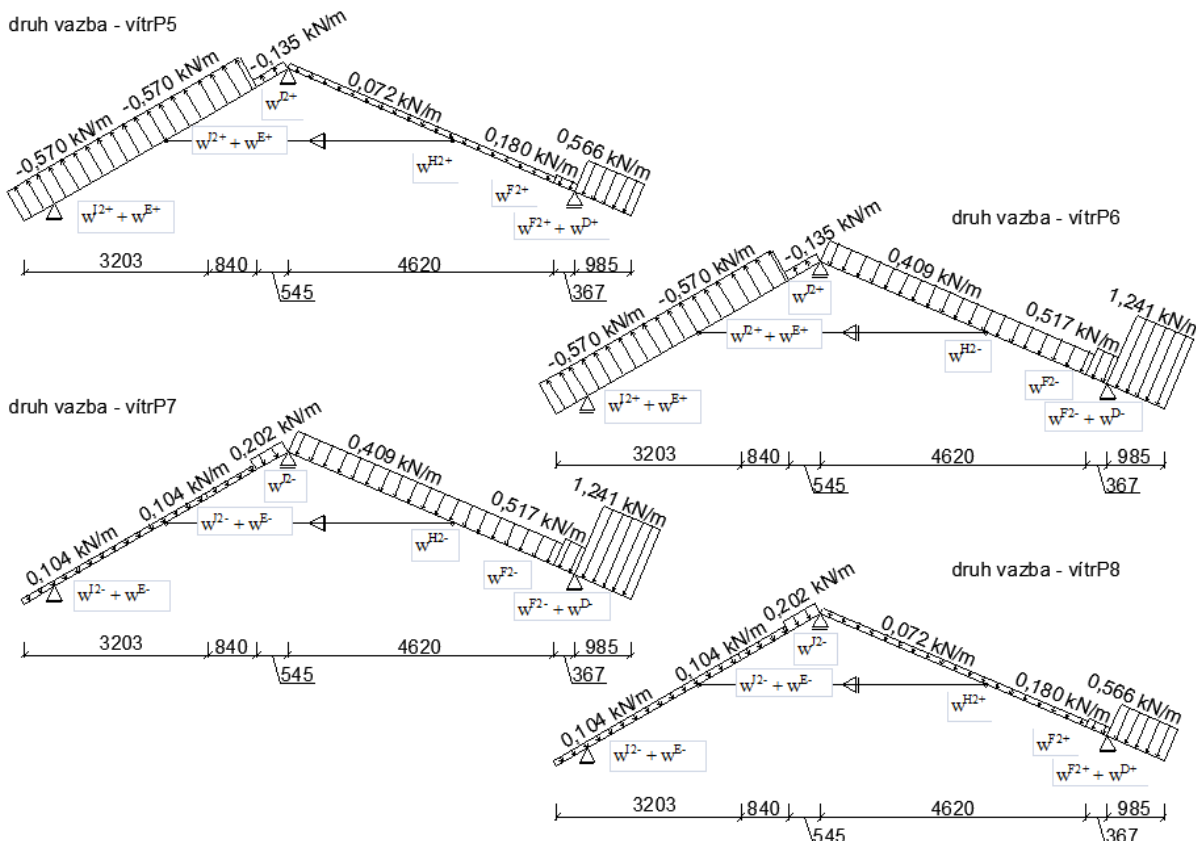
Tabulka 4.13 – Tlak větru na střechu





Obrázek 4.12 – zatěžovací stavy pro vítr zleva pro první vazbu





Obrázek 4.13 – zatěžovací stavy pro vítr zleva pro druhou vazbu

5. Statické posouzení prvků krovu

Jednotlivé prvky krovu jsou z rostlého dřeva převážně třídy C24. Vrcholová vaznice je ze dřeva třídy C30. Posudek byl proveden dle normy ČSN EN 1995-1-1 [6]. Příklady výpočtů lze nalézt také v literatuře [7], [8].

5.1 Latě

Lať byla uvažována jako spojitý nosník o dvou polích. K výpočtu ohybových momentů byly použity statické tabulky. Latě jsou posuzovány na obou stranách střechy z důvodu různých sklonů a různých vzdáleností latí. Odlišná osová vzdálenost latí vyplývá z požadavků výrobce krytiny na sklon střechy [11].

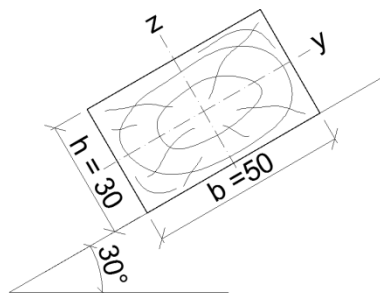
Objekt se nachází v průměrné nadmořské výšce 250 m nad mořem. Kombinační součinitel ψ_0 je pro tuto nadmořskou výšku 0,5.

Latování na levé straně střechy

návrh latě

$$b = 0,050 \text{ m}$$

$$h = 0,030 \text{ m}$$



sklon střešní roviny

$$\alpha = 30^\circ$$

délka pole

$$l = 1 \text{ m}$$

průřezové charakteristiky

$$W_{el,y} = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,050 \cdot 0,030^2 = 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,030 \cdot 0,050^2 = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

zatížení

$$\text{stálé } g_k = 0,158 \text{ kNm}^{-1}$$

$$\text{užitné } q_k = 0,260 \text{ kNm}^{-1}$$

$$\text{osamělé břemeno } Q_k = 1,000 \text{ kN}$$

$$\text{sníh } s_k = 0,291 \text{ kNm}^{-1}$$

$$\text{vítr } w_k = 1,511 \cdot 0,400 = 0,604 \text{ kNm}^{-1}$$

bezpečnostní součinitele

$$\gamma_G = 1,350$$

$$\gamma_Q = 1,500$$

nebezpečné kombinace zatížení

1. stálé + vítr + sníh

$$f_{Ed,y} = \gamma_G \cdot g_k \cdot \cos \alpha + \gamma_Q \cdot w_k + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot s_k \cdot \cos \alpha$$

$$f_{Ed,y} = 1,350 \cdot 0,158 \cdot \cos 30 + 1,500 \cdot 0,604 + 0,500 \cdot 1,500 \cdot 0,291 \cdot \cos 30$$

$$f_{Ed,y} = 1,280 \text{ kNm}^{-1}$$

$$f_{Ed,z} = \gamma_G \cdot g_k \cdot \sin \alpha + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot s_k \cdot \sin \alpha$$

$$f_{Ed,z} = 1,350 \cdot 0,158 \cdot \sin 30 + 0,500 \cdot 1,500 \cdot 0,291 \cdot \sin 30$$

$$f_{Ed,z} = 0,216 \text{ kNm}^{-1}$$

2. stálé + osamělé břemeno

$$f_{Ed,y} = \gamma_G \cdot g_k \cdot \cos \alpha = 1,350 \cdot 0,158 \cdot \cos 30 = 0,185 \text{ kNm}^{-1}$$

$$f_{Ed,z} = \gamma_G \cdot g_k \cdot \sin \alpha = 1,350 \cdot 0,158 \cdot \sin 30 = 0,107 \text{ kNm}^{-1}$$

$$Q_{Ed,y} = \gamma_Q \cdot Q \cdot \cos \alpha = 1,500 \cdot 1,000 \cdot \cos 30 = 1,299 \text{ kN}$$

$$Q_{Ed,z} = \gamma_Q \cdot Q_k \cdot \sin \alpha = 1,500 \cdot 1,000 \cdot \sin 30 = 0,785 \text{ kN}$$

3. stálé + užitné

$$f_{Ed,y} = \gamma_G \cdot g_k \cdot \cos \alpha + \gamma_Q \cdot q_k \cdot \cos \alpha$$

$$f_{Ed,y} = 1,350 \cdot 0,158 \cdot \cos 30 + 1,500 \cdot 0,260 \cdot \cos 30 = 0,522 \text{ kNm}^{-1}$$

$$f_{Ed,z} = \gamma_G \cdot g_k \cdot \sin \alpha + \gamma_Q \cdot q_k \cdot \sin \alpha$$

$$f_{Ed,z} = 1,350 \cdot 0,158 \cdot \sin 30 + 1,500 \cdot 0,260 \cdot \sin 30 = 0,302 \text{ kNm}^{-1}$$

ohybové momenty

1. stálé + vítr + sníh

$$M_{Ed,y} = 0,0703 \cdot f_{Ed,y} \cdot l^2 = 0,0703 \cdot 1,280 \cdot 1^2 = 0,090 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 0,0703 \cdot f_{Ed,z} \cdot l^2 = 0,0703 \cdot 0,216 \cdot 1^2 = 0,015 \text{ kNm}$$

2. stálé + osamělé břemeno

$$M_{Ed,y} = 0,0703 \cdot f_{Ed,y} \cdot l^2 + 0,2031 \cdot Q_{Ed,y} \cdot l =$$

$$M_{Ed,y} = 0,0703 \cdot 0,185 \cdot 1^2 + 0,2031 \cdot 1,299 \cdot 1 = 0,277 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 0,0703 \cdot f_{Ed,z} \cdot l^2 + 0,2031 \cdot Q_{Ed,z} \cdot l =$$

$$M_{Ed,z} = 0,0703 \cdot 0,107 \cdot 1^2 + 0,2031 \cdot 0,785 \cdot 1 = 0,167 \text{ kNm}$$

3. stálé + užitné

$$M_{Ed,y} = 0,0703 \cdot f_{Ed,y} \cdot l^2 = 0,0703 \cdot 0,522 \cdot 1^2 = 0,037 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 0,0703 \cdot f_{Ed,z} \cdot l^2 = 0,0703 \cdot 0,302 \cdot 1^2 = 0,021 \text{ kNm}$$

výpočet napětí od ohybu

1. stálé + vítr + sníh

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_{el,y}} = \frac{0,090}{7,5 \cdot 10^{-6}} = 12,001 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed,z}}{W_{el,z}} = \frac{0,015}{12,5 \cdot 10^{-6}} = 1,214 \text{ MPa}$$

2. stálé + osamělé břemeno

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_{el,y}} = \frac{0,277}{7,5 \cdot 10^{-6}} = 36,909 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed,z}}{W_{el,z}} = \frac{0,167}{12,5 \cdot 10^{-6}} = 13,361 \text{ MPa}$$

3. stálé + užité

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_{el,y}} = \frac{0,037}{7,5 \cdot 10^{-6}} = 4,897 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed,z}}{W_{el,z}} = \frac{0,021}{12,5 \cdot 10^{-6}} = 1,696 \text{ MPa}$$

materiál: rostlé dřevo třídy C24

charakteristická pevnost dřeva v ohybu: $f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$

bezpečnostní součinitel: $\gamma_m = 1,3$

únosnost při dvojosém ohybu

1. stálé + vítr + sníh

zatížení: krátkodobé

modifikační součinitel: $k_{mod} = 0,9$

návrhová pevnost dřeva v ohybu: $f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 24}{1,3} = 16,615 \text{ MPa}$

podmínka spolehlivosti: $k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$

$$0,7 \cdot \frac{12,001}{20,769} + \frac{1,214}{20,769} \leq 1$$

$$0,579 \leq 1$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

podmínka spolehlivosti: $\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$

$$\frac{12,001}{20,769} + 0,7 \cdot \frac{1,214}{20,769} \leq 1$$

$$0,773 \leq 1$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

2. stálé + osamělé zatížení

zatížení: okamžité

modifikační součinitel: $k_{mod} = 1,1$

návrhová pevnost dřeva v ohybu: $f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_m} = \frac{1,1 \cdot 24}{1,3} = 20,308 \text{ MPa}$

podmínka spolehlivosti:

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,7 \cdot \frac{36,909}{20,308} + \frac{13,361}{20,308} \leq 1$$

$$1,930 \leq 1$$

PRŮŘEZ NEVYHOVUJE

podmínka spolehlivosti:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{36,909}{20,308} + 0,7 \cdot \frac{13,361}{20,308} \leq 1$$

$$2,278 \leq 1$$

PRŮŘEZ NEVYHOVUJE

→ Při montáži musí být zamezeno velkému lokálnímu zatížení latí.

3. stálé + užité

zatížení:

střednědobé

modifikační součinitel:

$$k_{mod} = 0,8$$

návrhová pevnost dřeva v ohybu:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_m} = \frac{0,8 \cdot 24}{1,3} = 14,769 \text{ MPa}$$

podmínka spolehlivosti:

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,7 \cdot \frac{4,897}{14,769} + \frac{1,696}{14,769} \leq 1$$

$$0,347 \leq 1$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

podmínka spolehlivosti:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{4,897}{18,462} + 0,7 \cdot \frac{1,696}{18,462} \leq 1$$

$$0,412 \leq 1$$

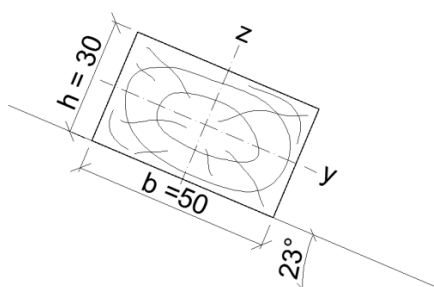
PRŮŘEZ VYHOVUJE

Laťování na pravé straně střechy

návrh latě

$$b = 0,050 \text{ m}$$

$$h = 0,030 \text{ m}$$



sklon střešní roviny	$\alpha = 26^\circ$
délka pole	$l = 1 \text{ m}$
průřezové charakteristiky	$W_{el,y} = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,050 \cdot 0,030^2 = 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ $W_{el,z} = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,030 \cdot 0,050^2 = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$
zatížení	stálé $g_k = 0,146 \text{ kNm}^{-1}$ užitné $q_k = 0,255 \text{ kNm}^{-1}$ osamělé břemeno $Q_k = 1,000 \text{ kN}$ sníh $s_k = 0,286 \text{ kNm}^{-1}$ vítr $w_k = 1,511 \cdot 0,400 = 0,559 \text{ kNm}^{-1}$
bezpečnostní součinitele	$\gamma_G = 1,350$ $\gamma_Q = 1,500$

nebezpečné kombinace zatížení

1. stálé + vítr + sníh

$$f_{Ed,y} = \gamma_G \cdot g_k \cdot \cos \alpha + \gamma_Q \cdot w_k + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot s_k \cdot \cos \alpha$$

$$f_{Ed,y} = 1,350 \cdot 0,146 \cdot \cos 23 + 1,500 \cdot 0,559 + 0,500 \cdot 1,500 \cdot 0,286 \cdot \cos 23$$

$$f_{Ed,y} = 1,217 \text{ kNm}^{-1}$$

$$f_{Ed,z} = \gamma_G \cdot g_k \cdot \sin \alpha + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot s_k \cdot \sin \alpha$$

$$f_{Ed,z} = 1,350 \cdot 0,146 \cdot \sin 23 + 0,500 \cdot 1,500 \cdot 0,286 \cdot \sin 23$$

$$f_{Ed,z} = 0,161 \text{ kNm}^{-1}$$

2. stálé + osamělé břemeno

$$f_{Ed,y} = \gamma_G \cdot g_k \cdot \cos \alpha = 1,350 \cdot 0,146 \cdot \cos 23 = 0,181 \text{ kNm}^{-1}$$

$$f_{Ed,z} = \gamma_G \cdot g_k \cdot \sin \alpha = 1,350 \cdot 0,146 \cdot \sin 23 = 0,077 \text{ kNm}^{-1}$$

$$Q_{Ed,y} = \gamma_Q \cdot Q \cdot \cos \alpha = 1,500 \cdot 1,000 \cdot \cos 23 = 1,381 \text{ kN}$$

$$Q_{Ed,z} = \gamma_Q \cdot Q_k \cdot \sin \alpha = 1,500 \cdot 1,000 \cdot \sin 23 = 0,602 \text{ kN}$$

3. stálé + užitné

$$f_{Ed,y} = \gamma_G \cdot g_k \cdot \cos \alpha + \gamma_Q \cdot q_k \cdot \cos \alpha$$

$$f_{Ed,y} = 1,350 \cdot 0,146 \cdot \cos 23 + 1,500 \cdot 0,255 \cdot \cos 23 = 0,534 \text{ kNm}^{-1}$$

$$f_{Ed,z} = \gamma_G \cdot g_k \cdot \sin \alpha + \gamma_Q \cdot q_k \cdot \sin \alpha$$

$$f_{Ed,z} = 1,350 \cdot 0,146 \cdot \sin 23 + 1,500 \cdot 0,255 \cdot \sin 23 = 0,226 \text{ kNm}^{-1}$$

ohybové momenty

1. stálé + vítr + sníh

$$M_{Ed,y} = 0,0703 \cdot f_{Ed,y} \cdot l^2 = 0,0703 \cdot 1,217 \cdot 1^2 = 0,086 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 0,0703 \cdot f_{Ed,z} \cdot l^2 = 0,0703 \cdot 0,161 \cdot 1^2 = 0,011 \text{ kNm}$$

2. stálé + osamělé břemeno

$$M_{Ed,y} = 0,0703 \cdot f_{Ed,y} \cdot l^2 + 0,2031 \cdot Q_{Ed,y} \cdot l =$$

$$M_{Ed,y} = 0,0703 \cdot 0,181 \cdot 1^2 + 0,2031 \cdot 1,381 \cdot 1 = 0,293 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 0,0703 \cdot f_{Ed,z} \cdot l^2 + 0,2031 \cdot Q_{Ed,z} \cdot l =$$

$$M_{Ed,z} = 0,0703 \cdot 0,077 \cdot 1^2 + 0,2031 \cdot 0,602 \cdot 1 = 0,128 \text{ kNm}$$

3. stálé + užité

$$M_{Ed,y} = 0,0703 \cdot f_{Ed,y} \cdot l^2 = 0,0703 \cdot 0,534 \cdot 1^2 = 0,038 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 0,0703 \cdot f_{Ed,z} \cdot l^2 = 0,0703 \cdot 0,226 \cdot 1^2 = 0,016 \text{ kNm}$$

výpočet napětí od ohybu

1. stálé + vítr + sníh

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_{el,y}} = \frac{0,086}{7,5 \cdot 10^{-6}} = 11,412 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed,z}}{W_{el,z}} = \frac{0,011}{12,5 \cdot 10^{-6}} = 0,904 \text{ MPa}$$

2. stálé + osamělé břemeno

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_{el,y}} = \frac{0,293}{7,5 \cdot 10^{-6}} = 39,092 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed,z}}{W_{el,z}} = \frac{0,128}{12,5 \cdot 10^{-6}} = 10,217 \text{ MPa}$$

3. stálé + užité

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_{el,y}} = \frac{0,038}{7,5 \cdot 10^{-6}} = 5,001 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed,z}}{W_{el,z}} = \frac{0,016}{12,5 \cdot 10^{-6}} = 1,274 \text{ MPa}$$

materiál:

rostlé dřevo třídy C24

charakteristická pevnost dřeva v ohybu:

$$f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$$

bezpečnostní součinitel:

$$\gamma_m = 1,3$$

únosnost při dvojosém ohybu

1. stálé + vítr + sníh

zatížení:

krátkodobé

modifikační součinitel:

$$k_{mod} = 0,9$$

návrhová pevnost dřeva v ohybu:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 24}{1,3} = 16,615 \text{ MPa}$$

podmínka spolehlivosti:

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,7 \cdot \frac{11,412}{20,769} + \frac{0,904}{20,769} \leq 1$$

$$0,535 \leq 1$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

podmínka spolehlivosti:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{11,412}{20,769} + 0,7 \cdot \frac{0,904}{20,769} \leq 1$$

$$0,725 \leq 1$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

2. stálé + osamělé zatížení

zatížení:

okamžité

modifikační součinitel:

$$k_{mod} = 1,1$$

návrhová pevnost dřeva v ohybu:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_m} = \frac{1,1 \cdot 24}{1,3} = 20,308 \text{ MPa}$$

podmínka spolehlivosti:

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,7 \cdot \frac{39,092}{20,308} + \frac{10,217}{20,308} \leq 1$$

$$1,851 \leq 1$$

PRŮŘEZ NEVYHOVUJE

podmínka spolehlivosti:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{39,092}{20,308} + 0,7 \cdot \frac{10,217}{20,308} \leq 1$$

$$2,277 \leq 1$$

PRŮŘEZ NEVYHOVUJE

→ Při montáži musí být zamezeno velkému lokálnímu zatížení latí.

3. stálé + užité

zatížení:

střednědobé

modifikační součinitel:

$$k_{mod} = 0,8$$

návrhová pevnost dřeva v ohybu: $f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_m} = \frac{0,8 \cdot 24}{1,3} = 14,769 \text{ MPa}$

podmínka spolehlivosti: $k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$

$$0,7 \cdot \frac{5,001}{14,769} + \frac{1,274}{14,769} \leq 1$$

$$0,323 \leq 1$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

podmínka spolehlivosti:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

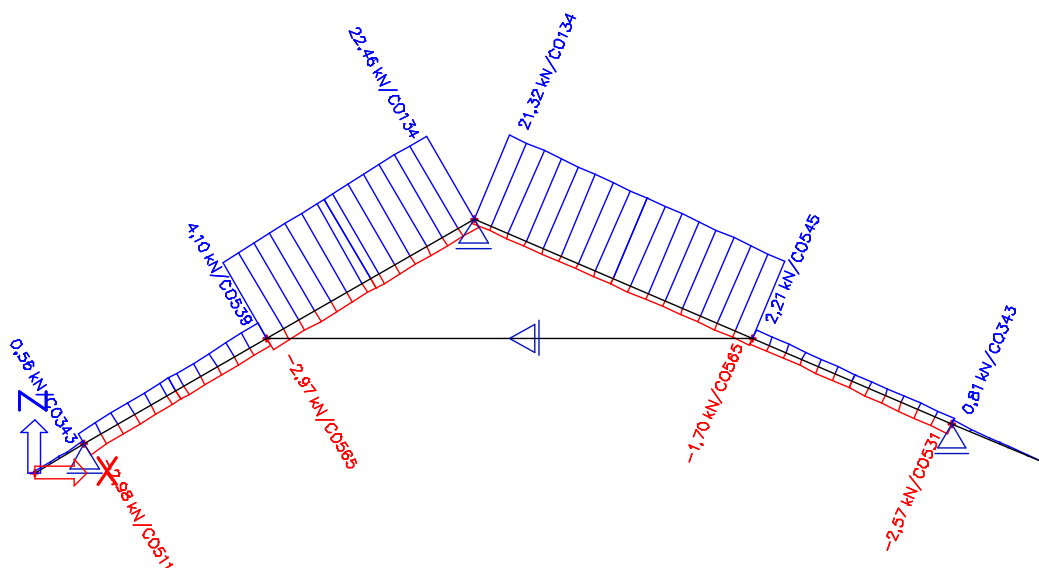
$$\frac{5,001}{18,462} + 0,7 \cdot \frac{1,274}{18,462} \leq 1$$

$$0,399 \leq 1$$

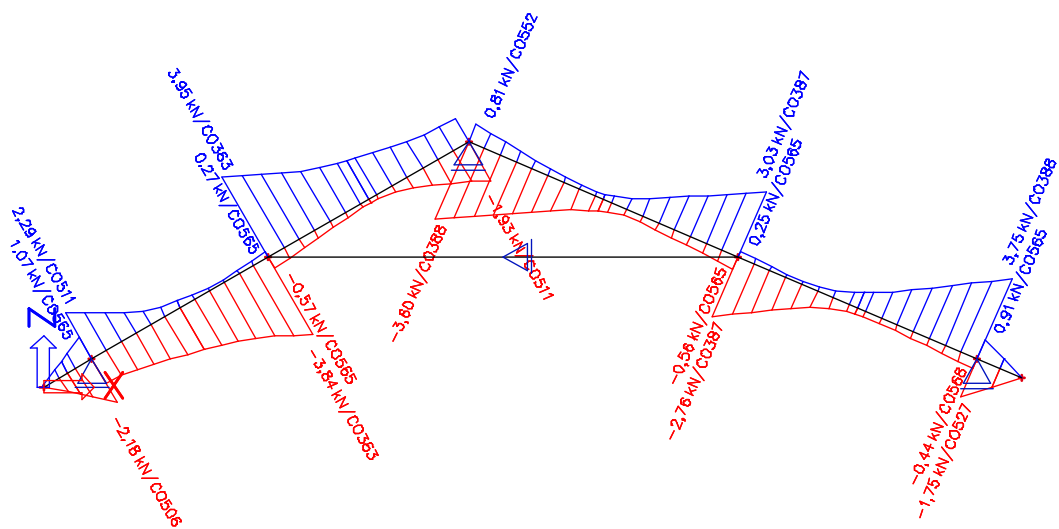
PRŮŘEZ VYHOVUJE

5.2 Krokve

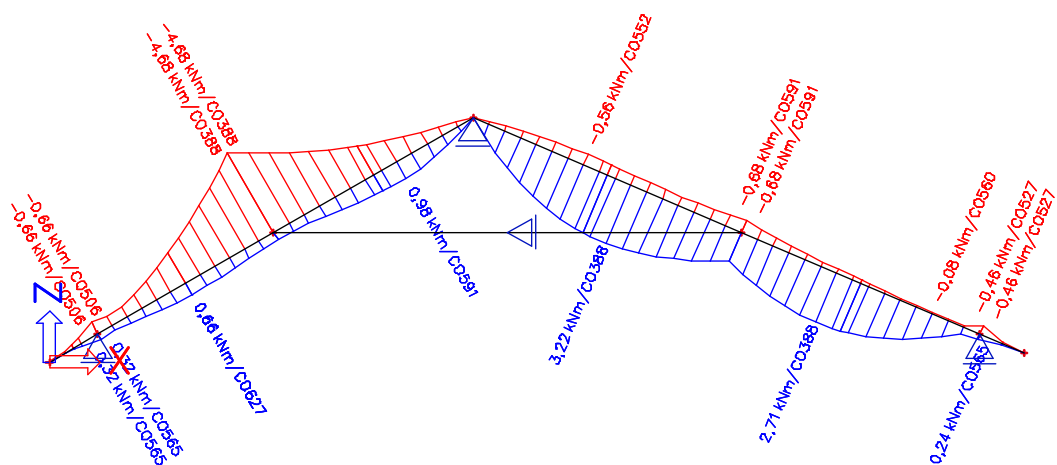
K výpočtu vnitřních sil byl použit program Scia Engineer, který vytvořil z jednotlivých zatěžovacích stavů 626 kombinací. Byly posuzovány dvě základní vazby s prvky stejných rozměrů a krokve byla posouzena na největší namáhání z nich. Obalové křivky vnitřních sil jsou na následujících obrázcích 5.1 – 5.6.



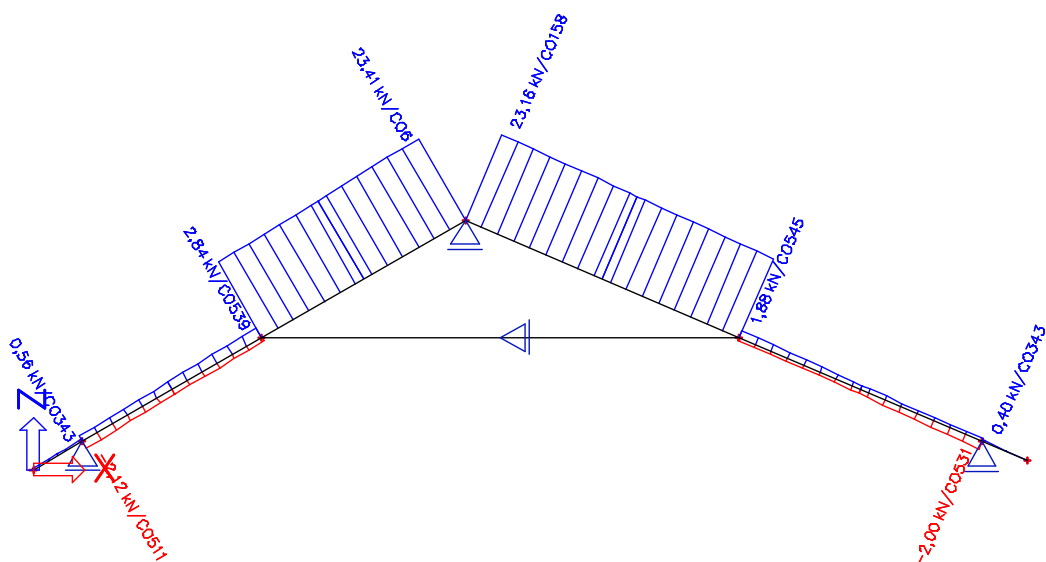
Obrázek 5.1 – normálové síly první vazby



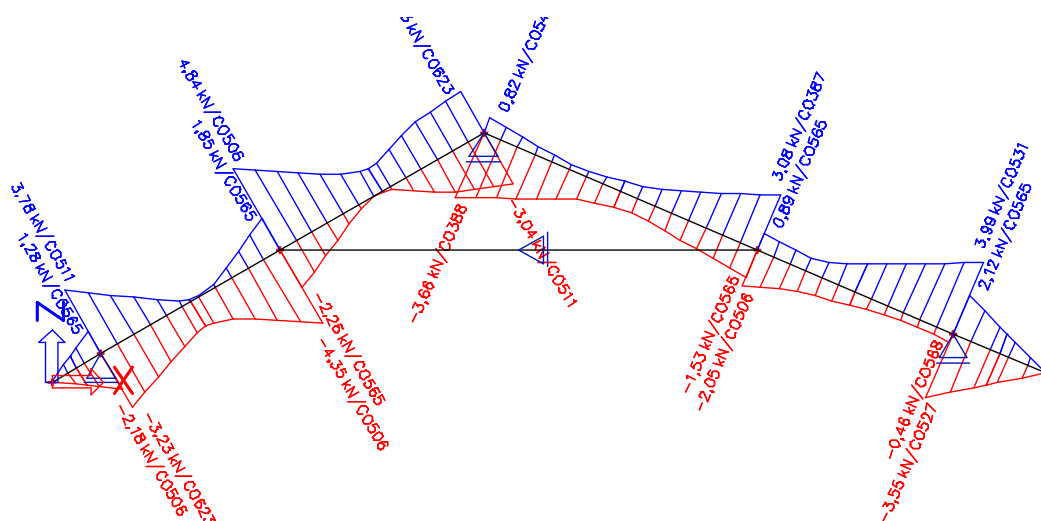
Obrázek 5.2 – posouvající síly první vazby



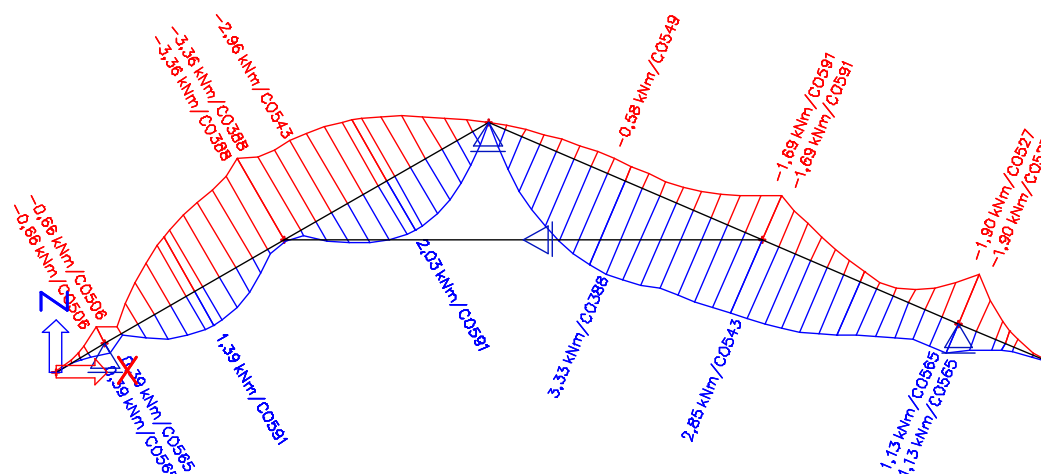
Obrázek 5.3 - ohybové momenty první vazby



Obrázek 5.4 – normálové síly druhé vazby



Obrázek 5.5 – posouvající síly druhé vazby



Obrázek 5.6 – ohybové momenty druhé vazby

charakteristika materiálu a prostředí:

materiál:	rostlé dřevo třídy C24
zatižení:	krátkodobé
třída provozu:	2
součinitel spolehlivosti:	$\gamma_m = 1,3$
modifikační součinitel:	$k_{mod} = 0,9$

charakteristické pevnosti materiálu

ohyb:	$f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$
tah rovnoběžně s vlákny:	$f_{t,0,k} = 14 \text{ MPa}$

tlak rovnoběžně s vlákny: $f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa}$

smyk: $f_{v,k} = 4 \text{ MPa}$

návrhové pevnosti materiálu

ohyb: $f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{24 \cdot 0,9}{1,3} = 16,615 \text{ MPa}$

tah rovnoběžně s vlákny: $f_{t,0,d} = \frac{f_{t,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{14 \cdot 0,9}{1,3} = 9,692 \text{ MPa}$

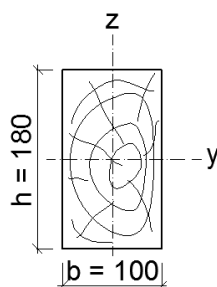
tlak rovnoběžně s vlákny: $f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{21 \cdot 0,9}{1,3} = 14,538 \text{ MPa}$

smyk: $f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{4 \cdot 0,9}{1,3} = 2,769 \text{ MPa}$

Posouzení mezního stavu únosnosti

návrh průřezu: $h = 180 \text{ mm}$

$b = 100 \text{ mm}$



průřezové charakteristiky

plocha: $A = h \cdot b = 0,18 \cdot 0,1 = 0,018 \text{ m}^2$

průřezový modul: $W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,1 \cdot 0,18^2 = 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

posouzení maximálního kladného momentu v dolním poli krokve

Maximální kladný moment v dolním poli krokve vznikne v druhé vazbě. Prvek je posouzen na kombinaci ohybového momentu a tahu.

rozhodující kombinace:

CO543	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
sníh 3	1,05
vítr K2	1,50

ohybový moment: $M = 2,850 \text{ kNm}$

normálová síla: $N = 1,040 \text{ kN}$

napětí od ohybu: $\sigma_{m,y,d} = \frac{M}{W_y} = \frac{2,85 \cdot 10^{-3}}{5,4 \cdot 10^{-4}} = 5,278 \text{ MPa}$

napětí od normálové síly: $\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A} = \frac{1,04 \cdot 10^{-3}}{0,018} = 0,058 \text{ MPa}$

podmínka spolehlivosti: $\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$

$$\frac{5,278}{16,615} + \frac{0,058}{9,692} \leq 1$$

$$0,324 \leq 1$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení maximálního kladného momentu v horním poli krokve

Maximální kladný moment v horním poli krokve vznikne v druhé vazbě. Prvek je posouzen na kombinaci ohybového momentu a tahu.

rozhodující kombinace:

CO388	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
sníh 3	1,50
vítr P6	0,90

ohybový moment: $M = 3,330 \text{ kNm}$

normálová síla: $N = 12,340 \text{ kN}$

napětí od ohybu: $\sigma_{m,y,d} = \frac{M}{W_y} = \frac{3,33 \cdot 10^{-3}}{5,4 \cdot 10^{-4}} = 6,167 \text{ MPa}$

napětí od normálové síly: $\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A} = \frac{12,34 \cdot 10^{-3}}{0,018} = 0,686 \text{ MPa}$

podmínka spolehlivosti: $\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$

$$\frac{6,167}{16,615} + \frac{0,686}{9,692} \leq 1$$

$$0,442 \leq 1$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení maximálního záporného momentu v místě napojení kleštin

Maximální záporný moment v místě napojení kleštin vznikne v první vazbě. Prvek je posouzen na kombinaci ohybového momentu a tahu.

rozhodující kombinace:

CO388	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
sníh 3	1,50
vítr P6	0,90

ohybový moment:

$$M = -4,680 \text{ kNm}$$

normálová síla:

$$N = 15,650 \text{ kN}$$

napětí od ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M}{W_y} = \frac{|-4,68 \cdot 10^{-3}|}{5,4 \cdot 10^{-4}} = 8,667 \text{ MPa}$$

napětí od normálové síly:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A} = \frac{15,65 \cdot 10^{-3}}{0,018} = 0,869 \text{ MPa}$$

podmínka spolehlivosti:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{8,667}{16,615} + \frac{0,869}{9,692} \leq 1$$

$$0,611 \leq 1$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení maximální tahové síly

Maximální tahová síla vznikne v první vazbě, příslušný ohybový moment je nulový, proto je prvek posouzen pouze na osový tah.

rozhodující kombinace:

CO006	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
užitné na krokách	1,50
užitné na kleštích	1,50

normálová síla:

$$N = 23,410 \text{ kN}$$

napětí od normálové síly:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A} = \frac{23,41 \cdot 10^{-3}}{0,018} = 1,301 \text{ MPa}$$

podmínka spolehlivosti:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$$1,301 \leq 9,692$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení maximální posouvající síly

Maximální posouvající síla vznikne v druhé vazbě. Prvek je posouzen na smyk.

rozhodující kombinace:

CO506	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
sníh 1	1,50
vítr L7	1,50

posouvající síla: $V = 4,840 \text{ kN}$

součinitel zohledňující vliv trhlin: $k_{cr} = 0,67$

účinná šířka prvku: $b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,1 = 0,067 \text{ m}$

účinná plocha prvku: $A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,067 \cdot 0,18 = 0,012 \text{ m}^2$

smykové napětí: $\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V}{A_{ef}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{4,86 \cdot 10^{-3}}{0,012} = 0,602 \text{ MPa}$

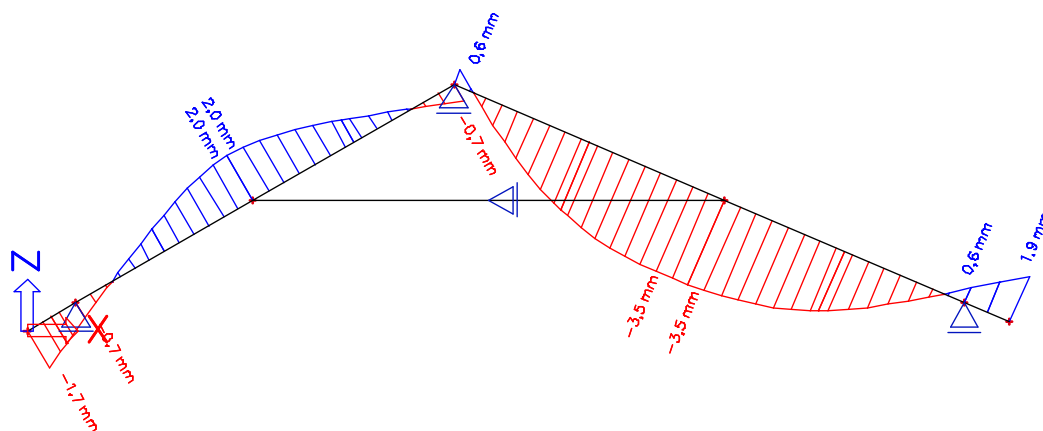
podmínka spolehlivosti: $\tau_{v,d} \leq f_{v,d}$

$$0,602 \leq 2,769$$

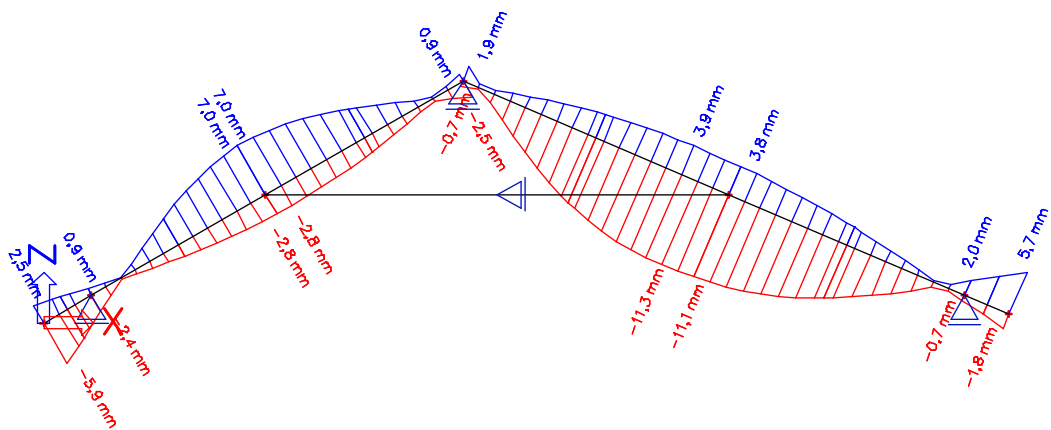
PRŮŘEZ VYHOVUJE

Posouzení mezního stavu použitelnosti

Průhybové křivky od stálého a nahodilého zatížení byly vypočteny v programu Scia Engineer a jsou na obrázcích 5.7 až 5.10. Průhyb byl posuzován na krokách obou vazeb.



Obrázek 5.7 – průhyb od stálého zatížení v první vazbě



Obrázek 5.8 – průhyb od nahodilého zatížení v první vazbě

posouzení pole v první vazbě

délka pole: $l = 5970 \text{ mm}$

součinitel dotvarování: $k_{def} = 0,8$

součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení $\psi_2 = 0$

okamžitý průhyb

od stálého zatížení: $w_{inst,G} = -3,5 \text{ mm}$

od okamžitého zatížení: $w_{inst,Q} = -11,3 \text{ mm}$

výsledný okamžitý průhyb: $w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = -3,5 + (-11,3)$

$$w_{inst} = -14,8 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti: $|w_{inst}| \leq \frac{l}{300}$

$$|-14,8| \leq \frac{5970}{300}$$

$$14,8 \leq 19,9$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

konečný průhyb

od stálého zatížení: $w_{net,fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = -3,5 \cdot (1 + 0,8)$

$$w_{net,fin,G} = -6,3 \text{ mm}$$

od nahodilého zatížení: $w_{net,fin,Q} = w_{inst,Q} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def})$

$$w_{net,fin,Q} = -9,5 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = -9,5 \text{ mm}$$

výsledný konečný průhyb: $w_{net,fin} = w_{net,fin,G} + w_{net,fin,Q}$

$$w_{net,fin} = -6,3 + (-9,5) = -17,6 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti: $|w_{net,fin}| \leq \frac{l}{250}$

$$|-17,6| \leq \frac{5970}{250}$$

$$17,6 \leq 23,880$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení převislého konce v první vazbě

délka pole: $l = 528 \text{ mm}$

okamžitý průhyb

od stálého zatížení: $w_{inst,G} = 1,9 \text{ mm}$

od okamžitého zatížení: $w_{inst,Q} = 5,7 \text{ mm}$

výsledný okamžitý průhyb: $w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = 1,9 + 5,7 = 7,6 \text{ mm}$

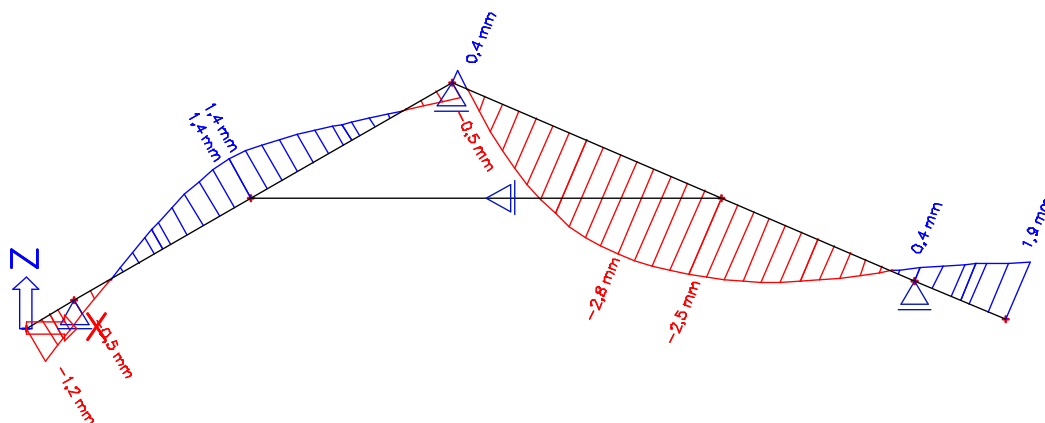
podmínka spolehlivosti: $|w_{inst}| \leq \frac{l}{300}$

$$|7,6| \leq \frac{528}{150}$$

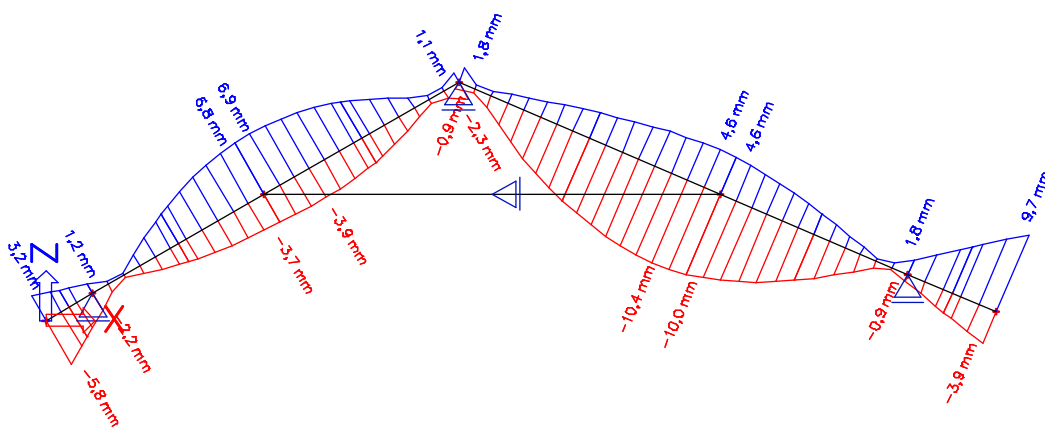
$$7,60 \leq 3,52$$

PRŮŘEZ NEVYHOVUJE

Ve skutečném provedení se bude konstrukce chovat jinak a nevyhovující průhyb na převislém konci není pro posudek důležitý.



Obrázek 5.9 – průhyb od stálého zatížení v druhé vazbě



Obrázek 5.10 – průhyb od nahodilého zatížení v druhé vazbě

posouzení pole v druhé vazbě

délka pole: $l = 5426 \text{ mm}$

součinitel dotvarování: $k_{def} = 0,8$

součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení $\psi_2 = 0$

okamžitý průhyb

od stálého zatížení: $w_{inst,G} = -2,8 \text{ mm}$

od okamžitého zatížení: $w_{inst,Q} = -10,4 \text{ mm}$

výsledný okamžitý průhyb: $w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = -2,8 + (-10,4)$

$$w_{inst} = -13,2 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti: $|w_{inst}| \leq \frac{l}{300}$

$$|-13,2| \leq \frac{5426}{300}$$

$$13,200 \leq 18,087$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

konečný průhyb

od stálého zatížení: $w_{net,fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = -2,8 \cdot (1 + 0,8)$

$$w_{net,fin,G} = -5,04 \text{ mm}$$

od nahodilého zatížení: $w_{net,fin,Q} = w_{inst,Q} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def})$

$$w_{net,fin,Q} = -10,4 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = -10,4 \text{ mm}$$

výsledný konečný průhyb: $w_{net,fin} = w_{net,fin,G} + w_{net,fin,Q}$

$$w_{net,fin} = -5,04 + (-10,4) = -15,44 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti: $|w_{net,fin}| \leq \frac{l}{250}$

$$|-19,8| \leq \frac{5426}{250}$$

$$15,440 \leq 21,704$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení převislého konce v první vazbě

délka pole: $l = 1072 \text{ mm}$

okamžitý průhyb

od stálého zatížení: $w_{inst,G} = 1,9 \text{ mm}$

od okamžitého zatížení: $w_{inst,Q} = 9,7 \text{ mm}$

výsledný okamžitý průhyb: $w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = 1,9 + 9,7 = 11,6 \text{ mm}$

podmínka spolehlivosti:

$$|w_{inst}| \leq \frac{l}{300}$$

$$|11,6| \leq \frac{1072}{150}$$

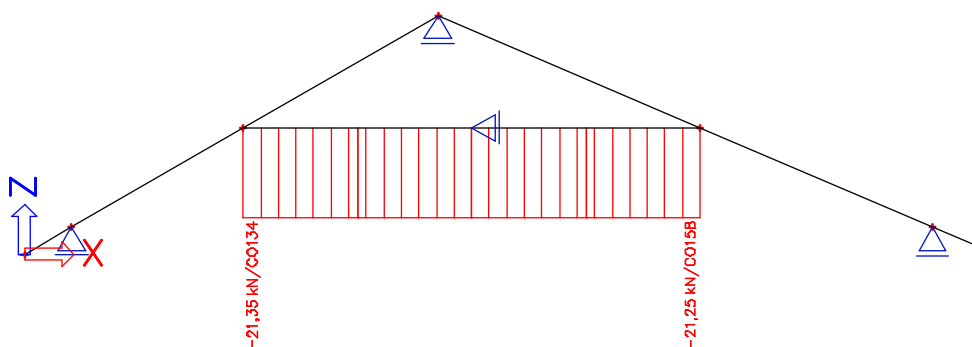
$$11,600 \leq 7,147$$

PRŮŘEZ NEVYHOVUJE

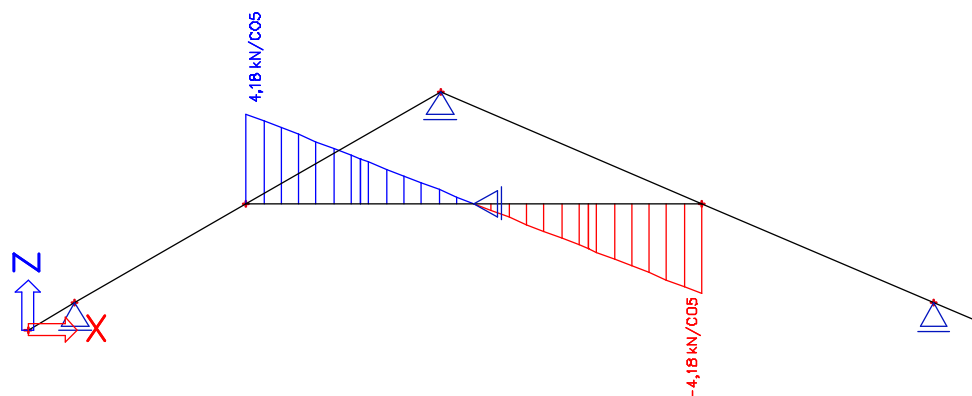
Uvažovaný výpočtový model je zjednodušený (na stranu bezpečnou) a ve skutečném provedení bude průhyb menší.

5.3 Kleštiny

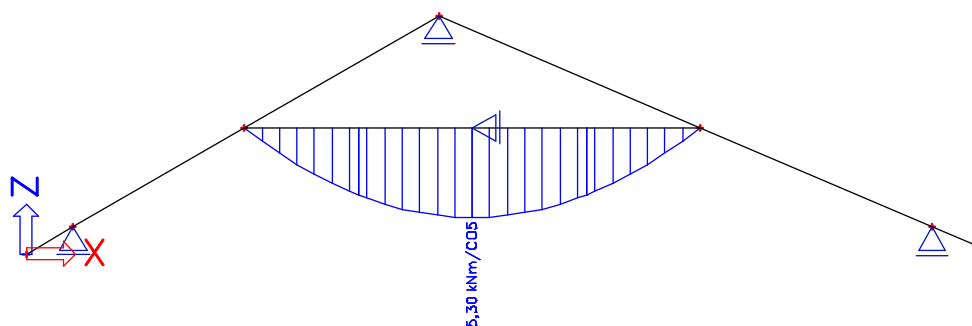
K výpočtu vnitřních sil byl použit program Scia Engineer, který vytvořil z jednotlivých zatěžovacích stavů 626 kombinací. Byly posuzovány dvě základní vazby s prvky stejných rozměrů a kleština byla posouzena na největší namáhání. Obalové křivky vnitřních sil jsou na následujících obrázcích 5.11 až 5.16.



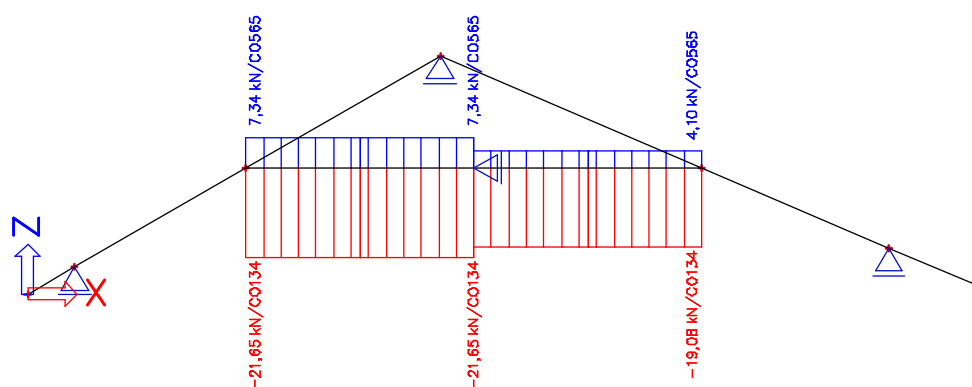
Obrázek 5.11 – normálové síly na kleštinách první vazby



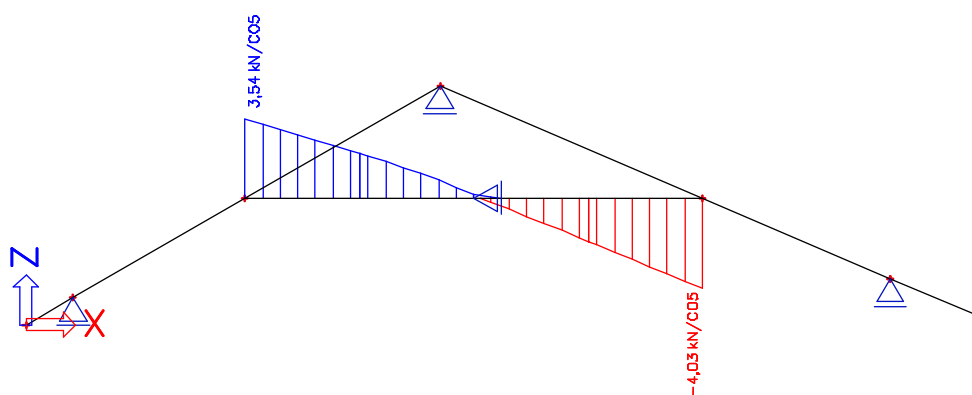
Obrázek 5.12 – posouvající síly na kleštinách první vazby



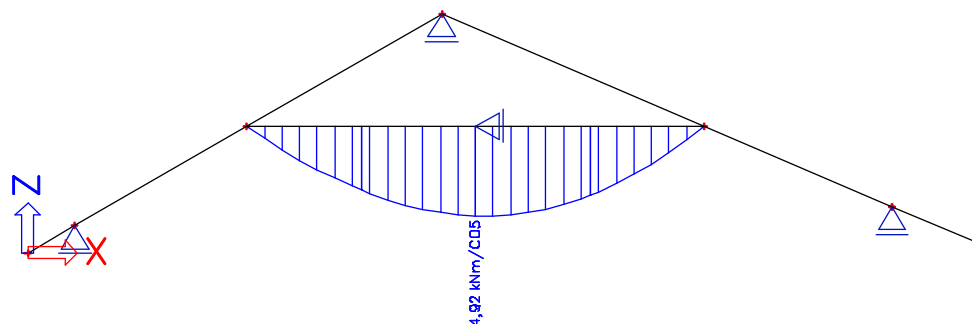
Obrázek 5.13 – ohybové momenty na kleštinách první vazby



Obrázek 5.14 – normálové síly na kleštinách druhé vazby



Obrázek 5.15 – posouvající síly na kleštinách druhé vazby



Obrázek 5.16 – ohybové momenty na kleštinách druhé vazby

charakteristika materiálu a prostředí:

materiál:	rostlé dřevo třídy C24
zatížení:	střednědobé
třída provozu:	2
součinitel spolehlivosti:	$\gamma_m = 1,3$
modifikační součinitel:	$k_{mod} = 0,8$

charakteristické pevnosti materiálu

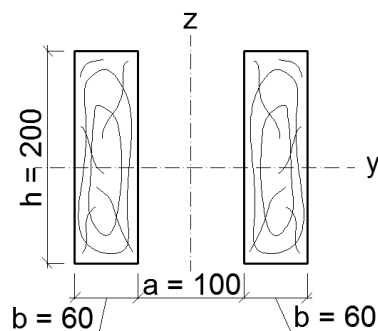
ohyb:	$f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$
tah rovnoběžně s vlákny:	$f_{t,0,k} = 14 \text{ MPa}$
tlak rovnoběžně s vlákny:	$f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa}$
smyk:	$f_{v,k} = 4 \text{ MPa}$

návrhové pevnosti materiálu

ohyb:	$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{24 \cdot 0,8}{1,3} = 14,769 \text{ MPa}$
tah rovnoběžně s vlákny:	$f_{t,0,d} = \frac{f_{t,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{14 \cdot 0,8}{1,3} = 8,615 \text{ MPa}$
tlak rovnoběžně s vlákny:	$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{21 \cdot 0,8}{1,3} = 12,923 \text{ MPa}$
smyk:	$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{4 \cdot 0,8}{1,3} = 2,462 \text{ MPa}$

Posouzení mezního stavu únosnosti

návrh průřezu:	2 x
	$h = 200 \text{ mm}$
	$b = 60 \text{ mm}$



průřezové charakteristiky

plocha: $A = h \cdot b = 2 \cdot 0,06 \cdot 0,2 = 0,024 \text{ m}^2$

průřezový modul: $W_y = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 0,06 \cdot 0,2^2 = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

posouzení maximálního ohybového momentu

Maximální ohybový moment vznikne v první vazbě. Prvek je posouzen na kombinaci ohybového momentu a tlaku, vybočení prvku brání celoplošné nabití OSB desek.

rozhodující kombinace:

CO005	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
užitné na kleštinách	1,50

ohybový moment: $M = 5,300 \text{ kNm}$

normálová síla: $N = -13,270 \text{ kN}$

napětí od ohybu: $\sigma_{m,y,d} = \frac{M}{W_y} = \frac{5,3 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} = 6,625 \text{ MPa}$

napětí od normálové síly: $\sigma_{c,0,d} = \frac{|N|}{A} = \frac{|-13,270 \cdot 10^{-3}|}{0,024} = 0,553 \text{ MPa}$

podmínka spolehlivosti: $\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 \leq 1$

$$\frac{6,625}{14,769} + \left(\frac{0,553}{12,923} \right)^2 \leq 1$$

$$0,450 \leq 1$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení maximální tlakové síly

Maximální tlaková síla vznikne v druhé vazbě. Prvek je posouzen na kombinaci ohybového momentu a tlaku, vybočení prvku brání celoplošné nabití OSB desek.

rozhodující kombinace:

CO134	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
užitné na kleštinách	1,50
sníh I	1,05
vítr L7	0,90

ohybový moment:

$$M = 4,920 \text{ kNm}$$

normálová síla:

$$N = -21,650 \text{ kN}$$

napětí od ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M}{W_y} = \frac{4,92 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} = 6,150 \text{ MPa}$$

napětí od normálové síly:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N|}{A} = \frac{|-21,65 \cdot 10^{-3}|}{0,024} = 0,902 \text{ MPa}$$

podmínka spolehlivosti:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 \leq 1$$

$$\frac{6,150}{14,769} + \left(\frac{0,902}{12,923} \right)^2 \leq 1$$

$$0,421 \leq 1$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení maximální tahové síly

Maximální tahová síla vznikne v druhé vazbě, příslušný ohybový moment je nulový, proto je prvek posouzen pouze na osový tah.

rozhodující kombinace:

CO565	
zatěžovací	bezpečnostní
vlastní tíha	1,00
stálé	1,00
vítr K1	1,50

normálová síla:

$$N = 7,340 \text{ kN}$$

napětí od normálové síly:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A} = \frac{7,34 \cdot 10^{-3}}{0,024} = 0,306 \text{ MPa}$$

podmínka spolehlivosti:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$$0,306 \leq 8,615$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení maximální posouvající síly

Maximální posouvající síla vznikne v první vazbě. Prvek je posouzen na smyk.

rozhodující kombinace:

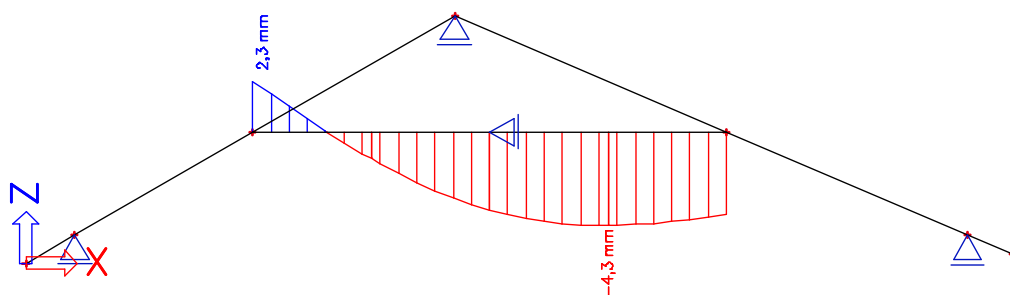
CO005	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
užitné na kleštinách	1,50

posouvající síla:	$V = 4,180 \text{ kN}$
součinitel zohledňující vliv trhlin:	$k_{cr} = 0,67$
účinná šířka prvku:	$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,06 = 0,0402 \text{ m}$
účinná plocha prvku:	$A_{ef} = 2 \cdot b_{ef} \cdot h = 2 \cdot 0,0402 \cdot 0,2 = 16,080 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
smykové napětí:	$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V}{A_{ef}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{4,21 \cdot 10^{-3}}{16,08 \cdot 10^{-3}} = 0,390 \text{ MPa}$
podmínka spolehlivosti:	$\tau_{v,d} \leq f_{v,d}$ $0,390 \leq 2,462$
PRŮŘEZ VYHOVUJE	

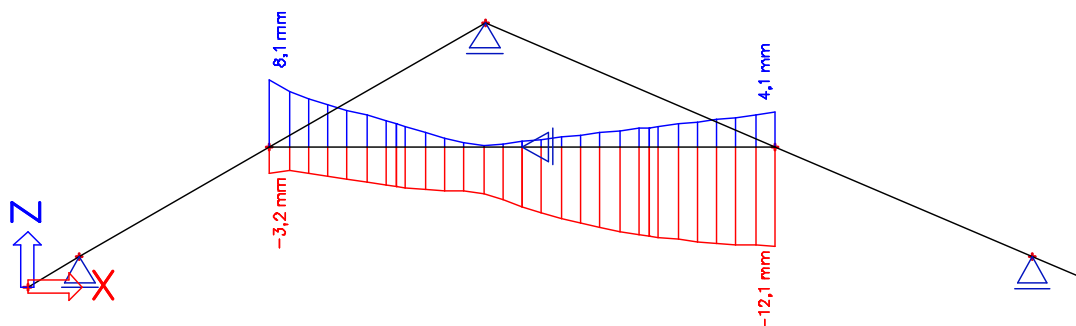
Posouzení mezního stavu použitelnosti

Průhybové křivky od stálého a nahodilého zatížení byly vypočteny v programu Scia Engineer a jsou na obrázcích 5.17 až 5.18. Průhyb byl posuzován na kleštinách první vazby, u druhé vazby, kleštiny prochází stěnou, která eliminuje jejich průhyb.

Na kleštiny bude nabita OSB deska v tloušťce 25mm, která s nimi spolupůsobí a počítá se s výškou klestiny o 25mm vyšší.



Obrázek 5.17 – průhyb od stálého zatížení první vazby



Obrázek 5.18 – průhyb od nahodilého zatížení první vazby

posouzení průhybu kleštin

délka pole: $l = 5066 \text{ mm}$

součinitel dotvarování: $k_{def} = 0,8$

součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení $\psi_2 = 0$

okamžitý průhyb

od stálého zatížení: $w_{inst,G} = -4,3 \text{ mm}$

od okamžitého zatížení: $w_{inst,Q} = -12,1 \text{ mm}$

výsledný okamžitý průhyb: $w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = -4,3 + (-12,1)$

$$w_{inst} = -16,4 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti: $|w_{inst}| \leq \frac{l}{300}$

$$|-16,4| \leq \frac{5066}{300}$$

$$16,400 \leq 16,887$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

konečný průhyb

od stálého zatížení: $w_{net,fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = -4,3 \cdot (1 + 0,8)$

$$w_{net,fin,G} = -7,74 \text{ mm}$$

od nahodilého zatížení: $w_{net,fin,Q} = w_{inst,Q} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def})$

$$w_{net,fin,Q} = -10,1 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = -12,1 \text{ mm}$$

výsledný konečný průhyb: $w_{net,fin} = w_{net,fin,G} + w_{net,fin,Q}$

$$w_{net,fin} = -7,74 + (-12,1) = -19,84 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti: $|w_{net,fin}| \leq \frac{l}{250}$

$$|-19,84| \leq \frac{5066}{250}$$

$$19,840 \leq 20,264$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

5.4 Vaznice

K výpočtu vnitřních sil byl použit program Scia Engineer, který vytvořil z jednotlivých zatěžovacích stavů 42 kombinací. Vaznice je zatížena reakcemi z vazby krovu.

[illegible]

Výpočet reakcí:

$$R_{k,1}^2 = R_z$$

$$R_{k,2}^2 = \left(\frac{0,6}{2} + \frac{1}{2}\right) \cdot R_{k,1}^i$$

$$R_{k,3}^2 = \left(\frac{0,6}{2} + \frac{0,25}{2} \right) \cdot R_{k,1}^i$$

Vysvětlení indexů:

dolní index – písmeno k značí, že jde o charakteristickou hodnotu a číslo udává reakci

zatížení stálé

$$R^1_{k,2} = 5,513 \text{ kN} \quad R^2_{k,2} = 4,512 \text{ kN}$$

$$R^1_{k.3} = 3,150 \text{ kN} \quad R^2_{k.3} = 2,397 \text{ kN}$$

$$R^1_{k,1} = 5,980 \text{ kN} \quad R^2_{k,1} = 5,480 \text{ kN}$$

$$R^1_{k,2} = 5,233 \text{ kN} \quad R^2_{k,2} = 4,384 \text{ kN}$$

$$R^1_{k,3} = 2,990 \text{ kN} \quad R^2_{k,3} = 2,329 \text{ kN}$$

$$R^1_{k,1} = 3,830 \text{ kN} \quad R^2_{k,1} = 3,760 \text{ kN}$$

$$R^1_{k,2} = 3,351 \text{ kN} \quad R^2_{k,2} = 3,008 \text{ kN}$$

$$R^1_{k,3} = 1,915 \text{ kN} \quad R^2_{k,3} = 1,598 \text{ kN}$$

zatížení sníh

$$\begin{aligned} R_{k,1}^1 &= 6,700 \text{ kN} & R_{k,1}^2 &= 6,140 \text{ kN} \\ R_{k,2}^1 &= 5,863 \text{ kN} & R_{k,2}^2 &= 4,912 \text{ kN} \\ R_{k,3}^1 &= 3,350 \text{ kN} & R_{k,3}^2 &= 2,610 \text{ kN} \end{aligned}$$

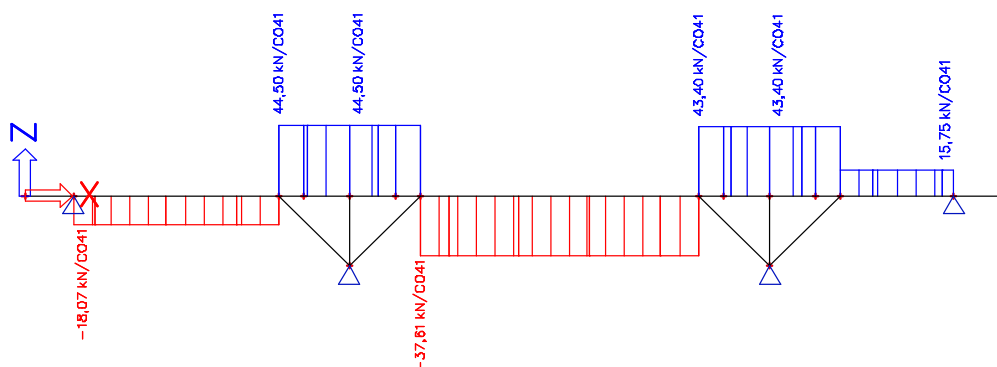
zatížení vítrTlak

$$\begin{aligned} R_{k,1}^1 &= 2,320 \text{ kN} & R_{k,1}^2 &= 3,970 \text{ kN} \\ R_{k,2}^1 &= 2,030 \text{ kN} & R_{k,2}^2 &= 3,176 \text{ kN} \\ R_{k,3}^1 &= 1,160 \text{ kN} & R_{k,3}^2 &= 1,687 \text{ kN} \end{aligned}$$

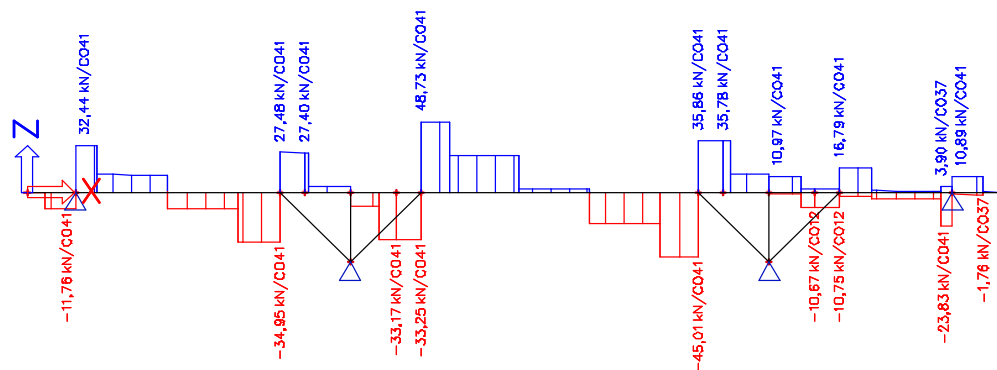
zatížení vítrSání

$$\begin{aligned} R_{k,1}^1 &= -3,250 \text{ kN} & R_{k,1}^2 &= -6,160 \text{ kN} \\ R_{k,2}^1 &= -2,844 \text{ kN} & R_{k,2}^2 &= -4,928 \text{ kN} \\ R_{k,3}^1 &= -1,625 \text{ kN} & R_{k,3}^2 &= -2,618 \text{ kN} \end{aligned}$$

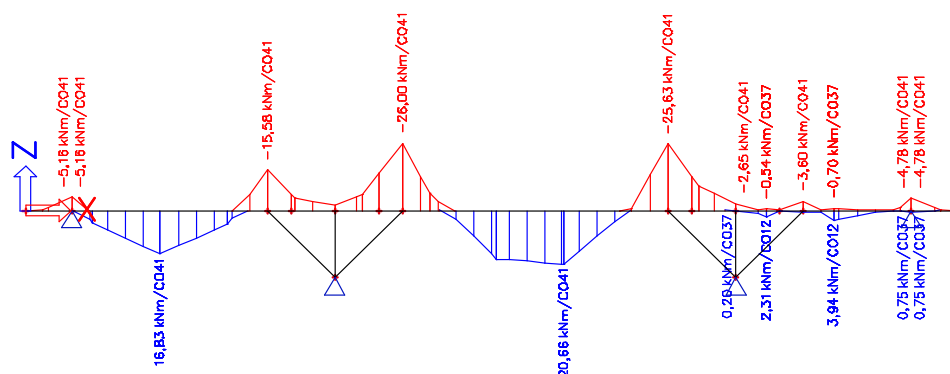
Obalové křivky maximálních vnitřních sil jsou na obrázcích 5.20 až 5.22.



Obrázek 5.20 – normálové síly na vaznici



Obrázek 5.21 – posouvající síly na vaznici



Obrázek 5.22 – ohybové momenty na vaznici

charakteristika materiálu a prostředí:

materiál:	rostlé dřevo třídy C30
5% kvantil modulu pružnosti:	$E_{0,05} = 8000 \text{ MPa}$
zatížení:	krátkodobé
třída provozu:	2
součinitel spolehlivosti:	$\gamma_m = 1,3$
modifikační součinitel:	$k_{mod} = 0,9$

charakteristické pevnosti materiálu

ohyb:	$f_{m,k} = 30 \text{ MPa}$
tah rovnoběžně s vlákny:	$f_{t,0,k} = 18 \text{ MPa}$
tlak rovnoběžně s vlákny:	$f_{c,0,k} = 23 \text{ MPa}$
tlak kolmo na vlákna:	$f_{c,90,k} = 2,7 \text{ MPa}$
smyk:	$f_{v,k} = 4 \text{ MPa}$

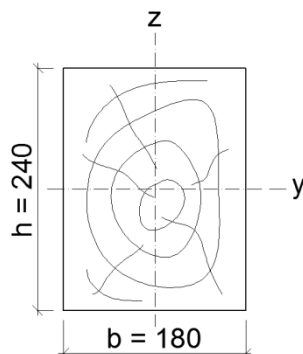
návrhové pevnosti materiálu

ohyb:	$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{30 \cdot 0,9}{1,3} = 20,769 \text{ MPa}$
tah rovnoběžně s vlákny:	$f_{t,0,d} = \frac{f_{t,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{18 \cdot 0,9}{1,3} = 12,462 \text{ MPa}$
tlak rovnoběžně s vlákny:	$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{23 \cdot 0,9}{1,3} = 15,923 \text{ MPa}$
tlak kolmo na vlákna:	$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{2,7 \cdot 0,9}{1,3} = 0,277 \text{ MPa}$
smyk:	$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{4 \cdot 0,9}{1,3} = 2,769 \text{ MPa}$

Posouzení mezního stavu únosnosti

návrh průřezu: $h = 240 \text{ mm}$

$b = 180 \text{ mm}$



průřezové charakteristiky

plocha: $A = h \cdot b = 0,24 \cdot 0,18 = 0,0432 \text{ m}^2$

průřezový modul: $W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,18 \cdot 0,24^2 = 1,728 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

moment setrvačnosti: $I_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{6} \cdot 0,18 \cdot 0,24^3 = 2,07 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

poloměr setrvačnosti: $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2,07 \cdot 10^{-4}}{0,0432}} = 0,069 \text{ m}$

posouzení maximální tlakové síly

Maximální tlaková síla vznikne v místě maximálního momentu. Prvek je posouzen na kombinaci tlaku a ohybu. U výpočtu bylo uvažováno i se vzpěrem.

rozhodující kombinace:

CO041	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
užitné na kleštinách	1,50
užitné na krokách	1,50

ohybový moment: $M = -26,000 \text{ kNm}$

normálová síla: $N = -37,610 \text{ kN}$

vzpěrná délka: $L_{cr,y} = 3,95 \text{ m}$

štíhlostní poměr: $\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3,95}{0,069} = 57,013$

poměrný štíhlostní poměr: $\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{57,013}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{23}{8000}} = 0,973$

součinitel přímosti: $\beta_c = 0,2$

součinitel vzpěrnosti: $k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$
 $k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (0,973 - 0,3) + 0,973^2] = 1,041$

součinitel vzpěrnosti: $k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,041 + \sqrt{1,041^2 - 0,973^2}} = 0,709$

napětí od normálové síly: $\sigma_{c,0,d} = \frac{|N|}{A} = \frac{|-37,61 \cdot 10^{-3}|}{0,0432} = 0,871 \text{ MPa}$

napětí od ohybu: $\sigma_{m,y,d} = \frac{M}{W_y} = \frac{|-26 \cdot 10^{-3}|}{1,728 \cdot 10^{-3}} = 15,046 \text{ MPa}$

podmínka spolehlivosti: $\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$
 $\frac{15,046}{20,769} + \frac{0,871}{0,709 \cdot 15,923} \leq 1$
 $0,802 \leq 1$
PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení maximální tahové síly

Maximální tahová síla vznikne v místě maximálního ohybového momentu. Prvek je posouzen na kombinaci ohybu a tahu.

rozhodující kombinace:

CO041	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
užitné na kleštínách	1,50
užitné na krokách	1,50

ohybový moment: $M = -26,000 \text{ kNm}$

normálová síla: $N = 44,500 \text{ kN}$

napětí od ohybu: $\sigma_{m,y,d} = \frac{M}{W_y} = \frac{-26 \cdot 10^{-3}}{1,728 \cdot 10^{-3}} = 15,046 \text{ MPa}$

napětí od normálové síly: $\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A} = \frac{44,5 \cdot 10^{-3}}{0,043} = 1,03 \text{ MPa}$

podmínka spolehlivosti: $\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$
 $\frac{15,046}{20,769} + \frac{1,03}{12,462} \leq 1$
 $0,807 \leq 1$
PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení maximální posouvající síly

rozhodující kombinace:

CO041	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
užitné na kleštinách	1,50
užitné na krokách	1,50

posouvající síla: $V = 48,730 \text{ kN}$

součinitel zohledňující vliv trhlin: $k_{cr} = 0,67$

účinná šířka prvku: $b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,18 = 0,1206 \text{ m}$

účinná plocha prvku: $A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,1206 \cdot 0,24 = 0,029 \text{ m}^2$

smykové napětí: $\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V}{A_{ef}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{48,73 \cdot 10^{-3}}{0,029} = 2,525 \text{ MPa}$

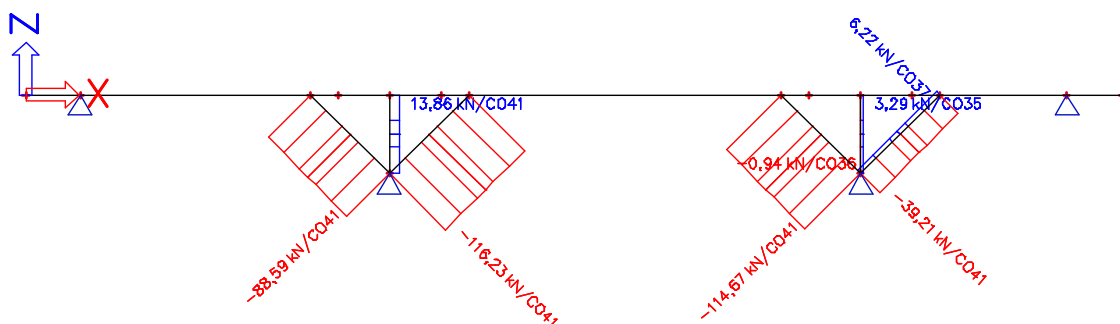
podmínka spolehlivosti: $\tau_{v,d} \leq f_{v,d}$

$$2,525 \leq 2,769$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení otlačení pásků do vaznice

Otláčení bylo posuzováno na maximální normálovou sílu v páscích. Obálka maximálních normálových sil v páscích je na obrázku 5.23.



Obrázek 5.23 – normálové síly na páscích

návrh průřezu pásku: $h = 150 \text{ mm}$

$b = 120 \text{ mm}$

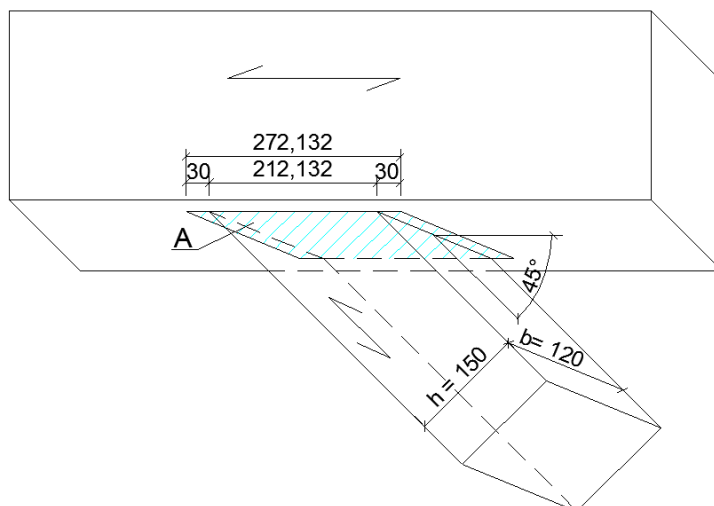
úhel připojení pásku: $\alpha = 45^\circ$

rozhodující kombinace:

CO041	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
užitné na kleštinách	1,50
užitné na krokách	1,50

normálová síla:

$$N = -116,23 \text{ kN}$$



Obrázek 5.24 – napojení pásu a vaznice

otlačovaná plocha:

$$A = 0,272 \cdot 0,12 = 0,033 \text{ m}^2$$

napětí v tlaku šikmo k vláknům:

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{|N|}{A} = \frac{|-116,23 \cdot 10^{-3}|}{0,033} = 3,559 \text{ MPa}$$

součinitel zatížení:

$$k_{c,90} = 1,5$$

podmínka spolehlivosti:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$3,559 \leq \frac{15,923}{\frac{15,923}{1,5 \cdot 0,277} \sin^2 45 + \cos^2 45}$$

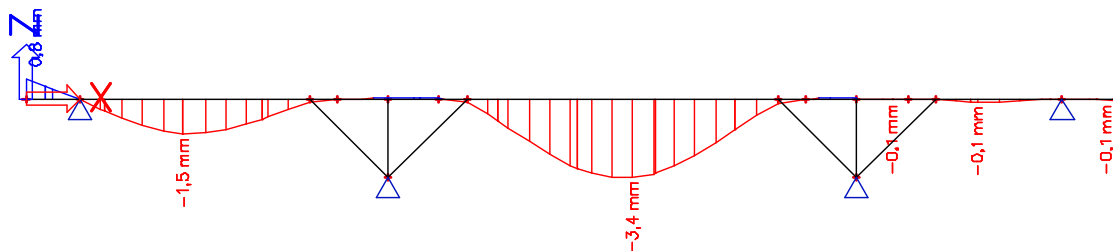
$$3,559 \leq 3,732$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

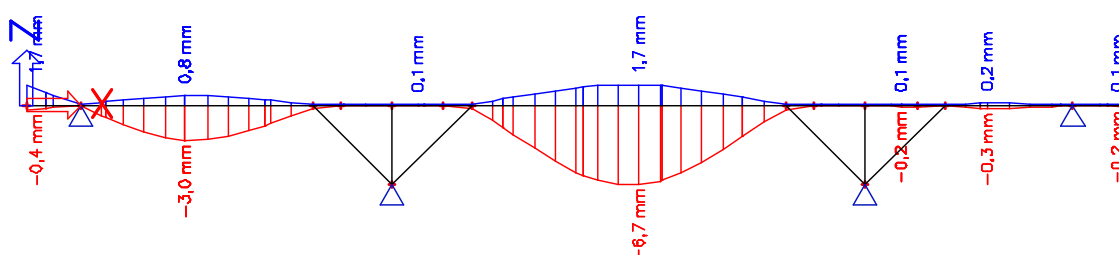
Posouzení mezního stavu použitelnosti

Průhybové křivky od stálého a nahodilého zatížení byly vypočteny v programu Scia Engineer a jsou na obrázcích 5.25 až 5.26. Průhyb byl posuzován na všech třech polích vaznice a na

levém převislém konci. Na pravém převislém konci průhyb posuzován nebyl, protože má menší průhyb než levý a stejnou délku.



Obrázek 5.25 – průhyb na vaznici od stálého zatížení



Obrázek 5.26 – průhyb na vaznici od nahodilého zatížení

posouzení levého převislého konce

délka pole: $l = 690 \text{ mm}$

součinitel dotvarování: $k_{def} = 0,8$

součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení $\psi_2 = 0$

okamžitý průhyb

od stálého zatížení: $w_{inst,G} = 0,6 \text{ mm}$

od okamžitého zatížení: $w_{inst,Q} = 1,7 \text{ mm}$

výsledný okamžitý průhyb: $w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = 0,6 + 1,7$

$$w_{inst} = 2,3 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti: $|w_{inst}| \leq \frac{l}{150}$

$$|2,3| \leq \frac{690}{150}$$

$$2,300 \leq 4,600$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

konečný průhyb

od stálého zatížení: $w_{net,fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 0,6 \cdot (1 + 0,8)$

$$w_{net,fin,G} = 1,08 \text{ mm}$$

od nahodilého zatížení:

$$w_{net,fin,Q} = w_{inst,Q} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def})$$

$$w_{net,fin,Q} = 1,7 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 1,7 \text{ mm}$$

výsledný konečný průhyb:

$$w_{net,fin} = w_{net,fin,G} + w_{net,fin,Q}$$

$$w_{net,fin} = 1,08 + 1,7 = 2,78 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti:

$$|w_{net,fin}| \leq \frac{l}{125}$$

$$|2,78| \leq \frac{690}{125}$$

$$2,780 \leq 5,520$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení prvního pole

délka pole:

$$l = 3910 \text{ mm}$$

součinitel dotvarování:

$$k_{def} = 0,8$$

součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení $\psi_2 = 0$

okamžitý průhyb

od stálého zatížení:

$$w_{inst,G} = -1,5 \text{ mm}$$

od okamžitého zatížení:

$$w_{inst,Q} = -3 \text{ mm}$$

výsledný okamžitý průhyb:

$$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = -1,5 + (-3)$$

$$w_{inst} = -4,5 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti:

$$|w_{inst}| \leq \frac{l}{300}$$

$$|-4,5| \leq \frac{3910}{300}$$

$$4,500 \leq 13,033$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

konečný průhyb

od stálého zatížení:

$$w_{net,fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = -1,5 \cdot (1 + 0,8)$$

$$w_{net,fin,G} = -2,7 \text{ mm}$$

od nahodilého zatížení:

$$w_{net,fin,Q} = w_{inst,Q} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def})$$

$$w_{net,fin,Q} = -3 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = -3 \text{ mm}$$

výsledný konečný průhyb:

$$w_{net,fin} = w_{net,fin,G} + w_{net,fin,Q}$$

$$w_{net,fin} = -2,7 + (-3) = -5,7 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti:

$$|w_{net,fin}| \leq \frac{l}{250}$$

$$|-5,7| \leq \frac{3910}{250}$$

$$5,700 \leq 15,640$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení druhého pole

délka pole: $l = 5950 \text{ mm}$

součinitel dotvarování: $k_{def} = 0,8$

součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení $\psi_2 = 0$

okamžitý průhyb

od stálého zatížení: $w_{inst,G} = -3,4 \text{ mm}$

od okamžitého zatížení: $w_{inst,Q} = -6,7 \text{ mm}$

výsledný okamžitý průhyb: $w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = -3,4 + (-6,7)$

$$w_{inst} = -10,1 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti: $|w_{inst}| \leq \frac{l}{300}$

$$|-10,1| \leq \frac{5950}{300}$$

$$10,100 \leq 19,833$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

konečný průhyb

od stálého zatížení: $w_{net,fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = -3,4 \cdot (1 + 0,8)$

$$w_{net,fin,G} = -6,12 \text{ mm}$$

od nahodilého zatížení: $w_{net,fin,Q} = w_{inst,Q} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def})$

$$w_{net,fin,Q} = -6,7 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = -6,7 \text{ mm}$$

výsledný konečný průhyb: $w_{net,fin} = w_{net,fin,G} + w_{net,fin,Q}$

$$w_{net,fin} = -6,12 + (-6,7) = -12,82 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti: $|w_{net,fin}| \leq \frac{l}{250}$

$$|-12,820| \leq \frac{5950}{250}$$

$$12,820 \leq 23,800$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení třetího pole

délka pole: $l = 2610 \text{ mm}$

součinitel dotvarování: $k_{def} = 0,8$

součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení $\psi_2 = 0$

okamžitý průhyb

od stálého zatížení: $w_{inst,G} = -0,1 \text{ mm}$

od okamžitého zatížení: $w_{inst,Q} = -0,3 \text{ mm}$

výsledný okamžitý průhyb: $w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = -0,1 + (-0,3)$

$$w_{inst} = -0,4 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti: $|w_{inst}| \leq \frac{l}{300}$

$$|-0,4| \leq \frac{2610}{300}$$

$$0,400 \leq 8,700$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

konečný průhyb

od stálého zatížení: $w_{net,fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = -0,1 \cdot (1 + 0,8)$

$$w_{net,fin,G} = -0,180 \text{ mm}$$

od nahodilého zatížení: $w_{net,fin,Q} = w_{inst,Q} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def})$

$$w_{net,fin,Q} = -0,3 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = -0,3 \text{ mm}$$

výsledný konečný průhyb: $w_{net,fin} = w_{net,fin,G} + w_{net,fin,Q}$

$$w_{net,fin} = -0,18 + (-0,3) = -0,48 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti: $|w_{net,fin}| \leq \frac{l}{250}$

$$|-0,480| \leq \frac{2610}{250}$$

$$0,480 \leq 10,440$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

5.5 Sloupky a pásy

Sloupky byly posouzeny na maximální reakci z vaznice. Pásy byly posouzeny na maximální normálové síly.

charakteristika materiálu a prostředí:

materiál: rostlé dřevo třídy C24

5% kvantil modulu pružnosti: $E_{0,05} = 7400 \text{ MPa}$

zatížení: krátkodobé

třída provozu: 2
 součinitel spolehlivosti: $\gamma_m = 1,3$
 modifikační součinitel: $k_{mod} = 0,9$

charakteristické pevnosti materiálu

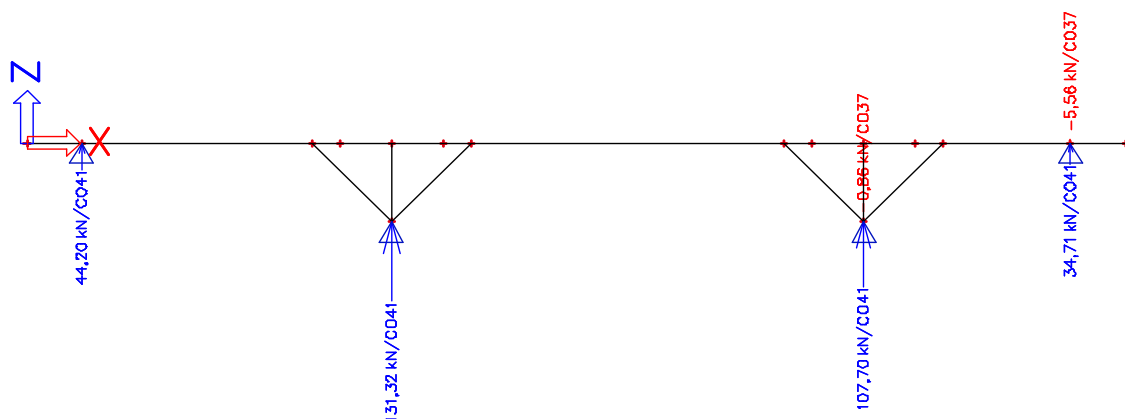
tlak rovnoběžně s vlákny: $f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa}$

návrhové pevnosti materiálu

tlak rovnoběžně s vlákny: $f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{21 \cdot 0,9}{1,3} = 14,538 \text{ MPa}$

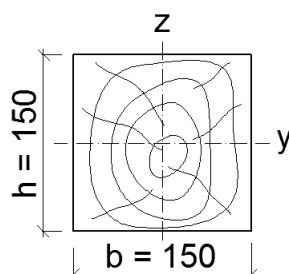
posouzení sloupku na maximální reakci z vaznice

Prvek je posouzen na osový tlak. U výpočtu bylo uvažováno i se vzpěrem. Na obrázku 5.27 jsou maximální reakce z vaznice.



Obrázek 5.27 – reakce z vaznice

návrh průřezu: $h = 150 \text{ mm}$
 $b = 150 \text{ mm}$



průřezové charakteristiky

plocha: $A = h \cdot b = 0,15 \cdot 0,15 = 0,023 \text{ m}^2$

moment setrvačnosti: $I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,15 \cdot 0,15^3 = 4,22 \cdot 10^{-5} m^4$

poloměr setrvačnosti: $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{4,22 \cdot 10^{-5}}{0,023}} = 0,043 m$

rozhodující kombinace:

CO041	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
užitné na kleštinách	1,50
užitné na krokách	1,50

normálová síla: $N = -131,320 kN$

vzpěrná délka: $L_{cr,y} = 3,555 m$

štíhlostní poměr: $\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3,555}{0,043} = 82,099$

poměrný štíhlostní poměr: $\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{82,099}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,392$

součinitel přímosti: $\beta_c = 0,2$

součinitel vzpěrnosti: $k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,392 - 0,3) + 1,392^2] = 1,578$$

součinitel vzpěrnosti: $k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,578 + \sqrt{1,578^2 - 1,392^2}} = 0,431$

napětí od normálové síly: $\sigma_{c,0,d} = \frac{|N|}{A} = \frac{|-131,32 \cdot 10^{-3}|}{0,023} = 5,836 MPa$

podmínka spolehlivosti: $\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \cdot k_{c,y}$

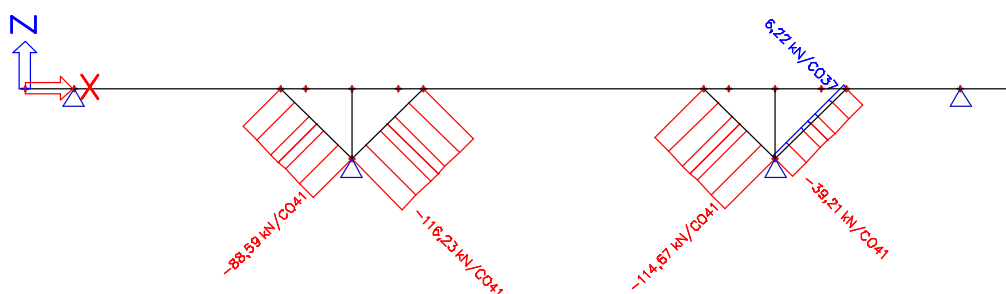
$$5,836 \leq 14,538 \cdot 0,431$$

$$5,836 \leq 6,262$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení pásků na maximální normálovou sílu

Prvek je posouzen na osový tlak. U výpočtu bylo uvažováno i se vzpěrem.

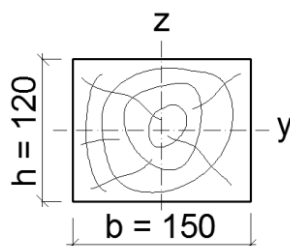


Obrázek 5.28 – normálové síly na páscích

návrh průřezu:

$$h = 120 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$



průřezové charakteristiky

plocha:

$$A = h \cdot b = 0,12 \cdot 0,15 = 0,018 \text{ m}^2$$

moment setrvačnosti:

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,15 \cdot 0,12^3 = 2,16 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

poloměr setrvačnosti:

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2,16 \cdot 10^{-5}}{0,018}} = 0,035 \text{ m}$$

rozhodující kombinace:

CO041	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
užitné na kleštinách	1,50
užitné na krokách	1,50

normálová síla:

$$N = -116,23 \text{ kN}$$

vzpěrná délka:

$$L_{cr,y} = 1,415 \text{ m}$$

štíhlostní poměr:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1,415}{0,035} = 40,848$$

poměrný štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{40,848}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 0,693$$

součinitel přímosti:

$$\beta_c = 0,2$$

součinitel vzpěrnosti:

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (0,693 - 0,3) + 0,693^2] = 0,779$$

součinitel vzpěrnosti:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,779 + \sqrt{0,779^2 - 0,693^2}} = 0,88$$

napětí od normálové síly:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N|}{A} = \frac{|-116,23 \cdot 10^{-3}|}{0,018} = 6,457 \text{ MPa}$$

podmínka spolehlivosti:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \cdot k_{c,y}$$

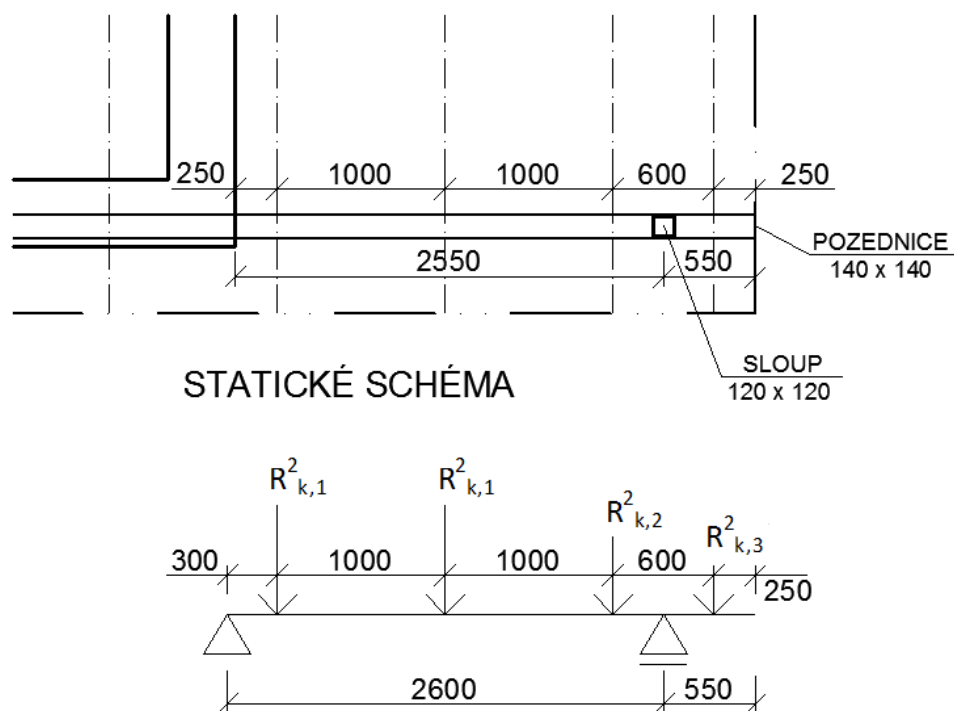
$$6,457 \leq 14,538 \cdot 0,88$$

$$6,457 \leq 12,799$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

5.6 Pozednice a sloup

Část pozednice prochází nad volným prostorem, na jedné straně je podepřena stěnou a na druhé sloupem, jak je znázorněno na obrázku 5.29. Je tedy nutné posoudit pozednici na ohyb, smyk a průhyb a sloup na reakci z pozednice.



Obrázek 5.29 – část půdorysu a statické schéma pozednice

Zatížení na pozednici jsou reakce z jednotlivých zatěžovacích stavů z vazby 2.

Výpočet reakcí:

$$R_{k,1}^i = R_z$$

$$R_{k,2}^i = \left(\frac{0,6}{2} + \frac{1}{2} \right) \cdot R_{k,1}^i$$

$$R_{k,3}^i = \left(\frac{0,6}{2} + \frac{0,25}{2} \right) \cdot R_{k,1}^i$$

R_z je reakce příslušného zatěžovacího stavu a vazby.

Vysvětlení indexů:

horní index – značí číslo vazby, ze které byla reakce brána

dolní index – písmeno k značí, že jde o charakteristickou hodnotu a číslo udává reakci

Zatěžovací stavy na pozednici

zatížení stálé

$$R^2_{k,1} = 0,570 \text{ kN}$$

$$R^2_{k,2} = 0,456 \text{ kN}$$

$$R^2_{k,3} = 0,242 \text{ kN}$$

zatížení sních

$$R^2_{k,1} = 1,220 \text{ kN}$$

$$R^2_{k,2} = 0,976 \text{ kN}$$

$$R^2_{k,3} = 0,519 \text{ kN}$$

zatížení užité na krokách

$$R^2_{k,1} = 0,730 \text{ kN}$$

$$R^2_{k,2} = 0,584 \text{ kN}$$

$$R^2_{k,3} = 0,310 \text{ kN}$$

zatížení užité na kleštinách

$$R^2_{k,1} = -0,140 \text{ kN}$$

$$R^2_{k,2} = -0,112 \text{ kN}$$

$$R^2_{k,3} = -0,060 \text{ kN}$$

zatížení tlak větru

$$R^2_{k,1} = 3,210 \text{ kN}$$

$$R^2_{k,2} = 2,568 \text{ kN}$$

$$R^2_{k,3} = 1,364 \text{ kN}$$

zatížení sání větru

$$R^2_{k,1} = -3,700 \text{ kN}$$

$$R^2_{k,2} = -2,960 \text{ kN}$$

$$R^2_{k,3} = -1,573 \text{ kN}$$

charakteristika materiálu a prostředí:

materiál:

rostlé dřevo třídy C24

5% kvantil modulu pružnosti:

$$E_{0,05} = 7400 \text{ MPa}$$

zatížení:

krátkodobé

třída provozu:

3

součinitel spolehlivosti:

$$\gamma_m = 1,3$$

modifikační součinitel:

$$k_{mod} = 0,7$$

charakteristické pevnosti materiálu

ohyb:

$$f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$$

tlak rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa}$$

tlak kolmo na vlákna:

$$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ MPa}$$

smyk:

$$f_{v,k} = 4 \text{ MPa}$$

návrhové pevnosti materiálu

ohyb:

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{24 \cdot 0,7}{1,3} = 12,923 \text{ MPa}$$

tlak rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{21 \cdot 0,7}{1,3} = 11,308 \text{ MPa}$$

tlak kolmo na vlákna:

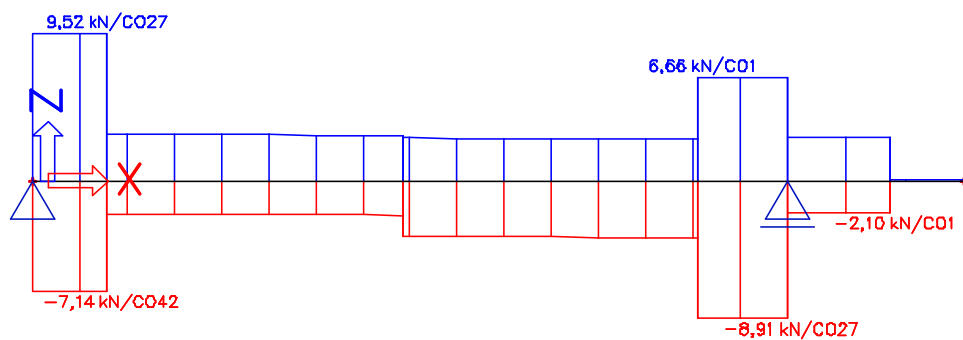
$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{2,5 \cdot 0,7}{1,3} = 1,346 \text{ MPa}$$

smyk:

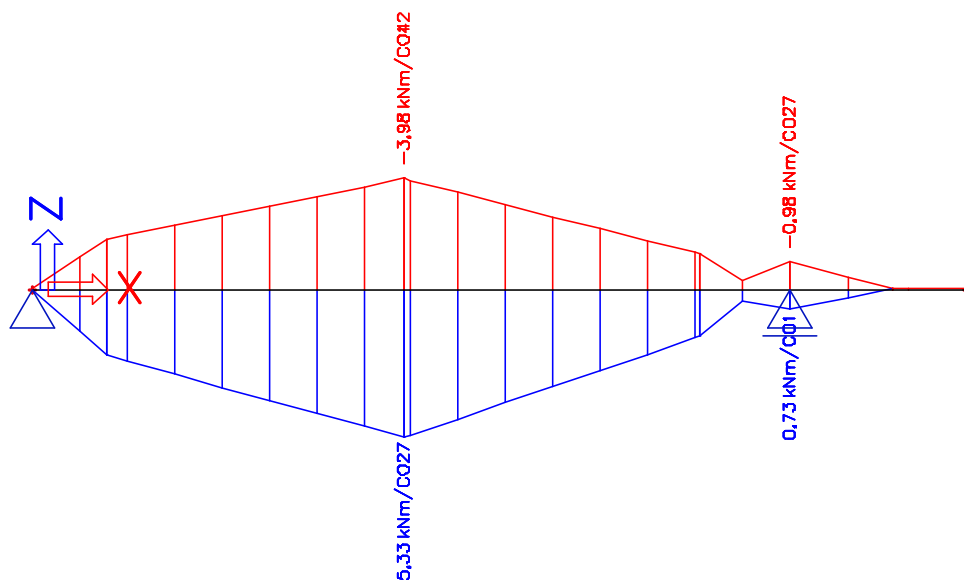
$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{4 \cdot 0,7}{1,3} = 2,154 \text{ MPa}$$

Posouzení pozednice

Obalové křivky maximálních vnitřních sil jsou na obrázcích 5.30 až 5.31.



Obrázek 5.30 – posouvající síly na pozednici



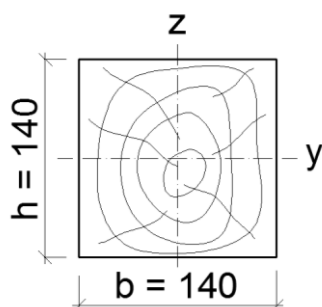
Obrázek 5.31 – ohybové momenty na pozednici

Mezní stav únosnosti

návrh průřezu:

$$h = 140 \text{ mm}$$

$$b = 140 \text{ mm}$$



průřezové charakteristiky

průřezový modul: $W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,14 \cdot 0,14^2 = 4,57 \cdot 10^{-4} m^3$

posouzení maximální posouvající síly

rozhodující kombinace:

CO027	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
sníh	0,75
tlak větru	1,50

posouvající síla: $V = 9,520 kN$

součinitel zohledňující vliv trhlin: $k_{cr} = 0,67$

účinná šířka prvku: $b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,14 = 0,0938 m$

účinná plocha prvku: $A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,0938 \cdot 0,14 = 0,013 m^2$

smykové napětí: $\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V}{A_{ef}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{9,52 \cdot 10^{-3}}{0,013} = 1,087 MPa$

podmínka spolehlivosti: $\tau_{v,d} \leq f_{v,d}$

$$1,087 \leq 2,154$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení maximálního ohybového momentu

rozhodující kombinace:

CO027	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
sníh	0,75
tlak větru	1,50

ohybový moment: $M = 5,330 kNm$

napětí od ohybu: $\sigma_{m,y,d} = \frac{M}{W_y} = \frac{5,33 \cdot 10^{-3}}{4,57 \cdot 10^{-4}} = 11,655 MPa$

podmínka spolehlivosti: $\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d}$

$$11,655 \leq 12,923$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

Posouzení otláčení pozednice od sloupu

Otláčení bylo posouzeno na maximální reakci z pozednice znázorněné na obrázku 5.32.

Otlačovaná plocha je plocha venkovního sloupu.



Obrázek 5.32 – reakce z pozednice

rozhodující kombinace:

CO027	
zatěžovací	bezpečnostní
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
sníh	0,75
tlak větru	1,50

maximální reakce:

$$R = 11,730 \text{ kNm}$$

otlačovaná plocha:

$$A = 0,12 \cdot 0,12 = 0,014 \text{ m}^2$$

napětí v tlaku kolmo k vláknům:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{|R|}{A} = \frac{|11,73 \cdot 10^{-3}|}{0,014} = 0,815 \text{ MPa}$$

součinitel zatížení:

$$k_{c,90} = 1$$

podmínka spolehlivosti:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

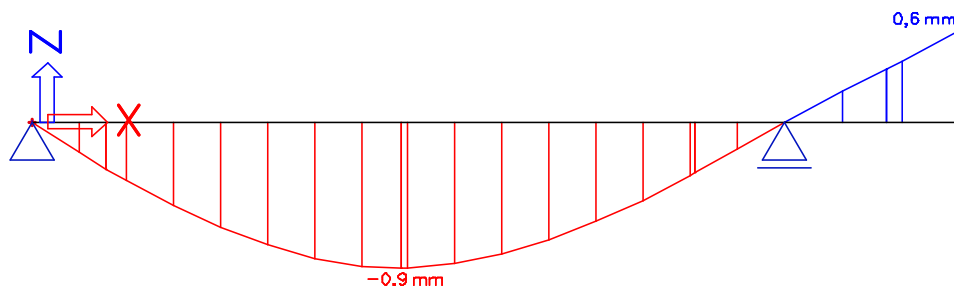
$$0,815 \leq 1 \cdot 1,346$$

$$0,815 \leq 1,346$$

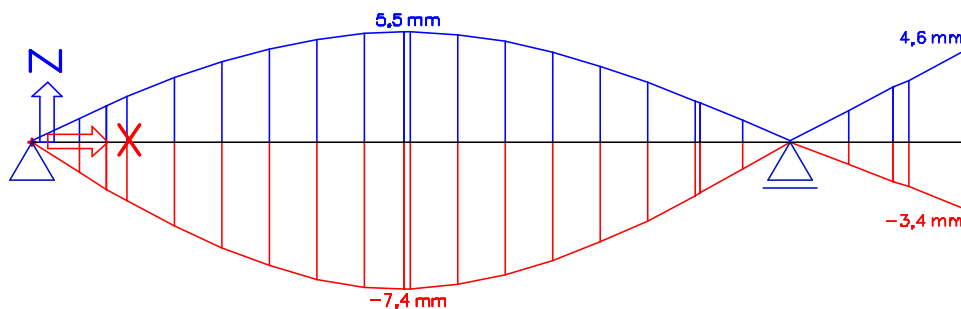
PRŮŘEZ VYHOVUJE

Mezní stav použitelnosti

Průhyb od stálého a nahodilého zatížení je vykreslen na obrázcích 5.33 až 5.34.



Obrázek 5.33 – průhyb od stálého zatížení na pozednici



Obrázek 5.34 – průhyb od nahodilého zatížení na pozednici

posouzení průhybu v poli

délka pole: $l = 2600 \text{ mm}$

součinitel dotvarování: $k_{def} = 2$

součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení $\psi_2 = 0$

okamžitý průhyb

od stálého zatížení: $w_{inst,G} = -0,9 \text{ mm}$

od okamžitého zatížení: $w_{inst,Q} = -7,4 \text{ mm}$

výsledný okamžitý průhyb: $w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = -0,9 + (-7,4)$

$$w_{inst} = -8,3 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti: $|w_{inst}| \leq \frac{l}{300}$

$$|-8,3| \leq \frac{2600}{300}$$

$$8,300 \leq 8,667$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

konečný průhyb

od stálého zatížení: $w_{net,fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = -0,9 \cdot (1 + 2)$

$$w_{net,fin,G} = -2,7 \text{ mm}$$

od nahodilého zatížení: $w_{net,fin,Q} = w_{inst,Q} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def})$

$$w_{net,fin,Q} = -7,4 \cdot (1 + 0 \cdot 2) = -7,4 \text{ mm}$$

výsledný konečný průhyb: $w_{net,fin} = w_{net,fin,G} + w_{net,fin,Q}$

$$w_{net,fin} = -2,7 + (-7,4) = -10,1 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti: $|w_{net,fin}| \leq \frac{l}{250}$

$$|-10,1| \leq \frac{2600}{250}$$

$$10,100 \leq 10,400$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení převislého konce

délka pole:

$$l = 550 \text{ mm}$$

okamžitý průhyb

od stálého zatížení:

$$w_{inst,G} = 0,6 \text{ mm}$$

od okamžitého zatížení:

$$w_{inst,Q} = 4,6 \text{ mm}$$

výsledný okamžitý průhyb:

$$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = 0,6 + 4,6 = 5,2 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti:

$$|w_{inst}| \leq \frac{l}{300}$$

$$|5,2| \leq \frac{550}{150}$$

$$5,200 \leq 3,667$$

PRŮŘEZ NEVYHOVUJE

Uvažovaný výpočtový model je zjednodušený (na stranu bezpečnou) a ve skutečném provedení bude průhyb menší.

Posouzení venkovního sloupu

Sloup byl posouzen na maximální reakci z pozednice na osový tlak. Reakce jsou vykresleny na obrázku 5.35.

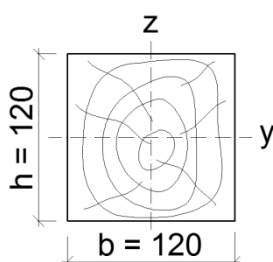


Obrázek 5.35 – reakce z pozednice

návrh průřezu:

$$h = 120 \text{ mm}$$

$$b = 120 \text{ mm}$$



průřezové charakteristiky

plocha:

$$A = h \cdot b = 0,15 \cdot 0,15 = 0,014 \text{ m}^2$$

moment setrvačnosti:

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,12 \cdot 0,12^3 = 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

poloměr setrvačnosti:

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,73 \cdot 10^{-5}}{0,014}} = 0,035 \text{ m}$$

rozhodující kombinace:

CO027	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
sníh	1,50
tlak větru	1,50

maximální reakce:

$$R = 11,730 \text{ kN}$$

vzpěrná délka:

$$L_{cr,y} = 6 \text{ m}$$

štíhlostní poměr:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{6}{0,035} = 173,205$$

poměrný štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{173,205}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 2,937$$

součinitel přímosti:

$$\beta_c = 0,2$$

součinitel vzpěrnosti:

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (2,937 - 0,3) + 2,937^2] = 5,077$$

součinitel vzpěrnosti:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{5,077 + \sqrt{5,077^2 - 2,937^2}} = 0,108$$

napětí od normálové síly:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N|}{A} = \frac{|11,73 \cdot 10^{-3}|}{0,014} = 0,815 \text{ MPa}$$

podmínka spolehlivosti:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \cdot k_{c,y}$$

$$0,815 \leq 11,308 \cdot 0,108$$

$$0,815 \leq 1,227$$

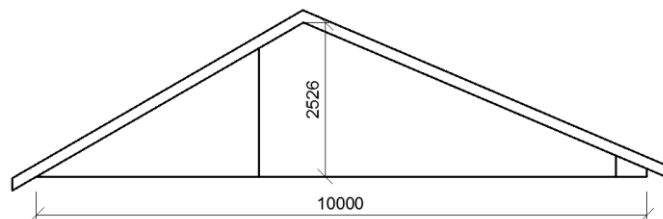
PRŮŘEZ VYHOVUJE

5.7 Zavětrování

Pro zavětrování byly navrženy pásy firmy BOVA BV/ZP 10-06, které budou přibity hřebíky BV/KH 4x40 mm.

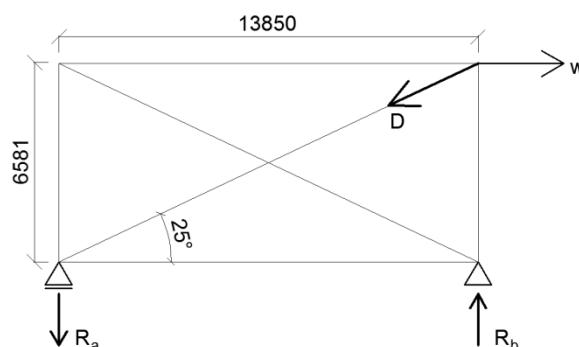
Výpočet:

plocha štítu, na který působí tlak větru: $A = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 2,526 = 12,63 \text{ m}^2$



Obrázek 5.36 – plocha štítu

Statické schéma – obrázek 5.37.



Obrázek 5.37 – statické schéma plochy štítu

součinitele vnějších tlaků pro štíty při působení větru rovnoběžně s hřebenem:

$$c_{pe,10}^D = 0,768$$

$$c_{pe,10}^E = -0,091$$

maximální charakteristický tlak: $q_p = 0,722 \text{ Pa}$

síla větru na jedno ztužidlo: $w = \frac{1}{2} \cdot q_p \cdot (c_{pe,10}^D - c_{pe,10}^E) \cdot A$

$$w = \frac{1}{2} \cdot 0,722 \cdot (0,768 - (-0,091)) \cdot 12,63 = 3,917 \text{ kN}$$

reakce: $R_b = w \cdot \frac{6550}{13850} = 3,917 \cdot \frac{6550}{13850} = 1,852 \text{ kN}$

síla ve ztužidle: $D = \frac{R_b}{\sin 25} = \frac{1,852}{\sin 25} = 4,383 \text{ kN}$

únosnost ztužidla: $F_{US} = 8,38 \text{ kN}$

Únosnost ztužidla byla převzatá z katalogu firmy Bova.

podmínka spolehlivosti: $D \leq F_{US}$

$$4,383 \leq 8,380$$

PÁSEK VYHOVUJE

potřebný počet hřebíků: $n = \frac{D}{0,71} = \frac{4,383}{0,71} = 6,173$

→ navrženo minimálně 7 hřebíků

6. Spoje

Jako spojovací prostředky byly použity hlavně svorníky, dále svorníky s vloženými hmoždíky a vruty. Řešeny jsou spoje kleština – krokev, krokev – krokev, podélné nastavení vrcholové vaznice a kotvení venkovního sloupu pomocí kotevní patky. K výpočtu byly použity normy ČSN EN 1995-1-1 [6] a ČSN EN 912 [9] (specifikace pro speciální hmoždíky pro dřevo). Příklady výpočtů lze také najít v literatuře [10].

6.1 Spoj kleština – krokev

Spoj je navržen jako dvojstřížný. Vypracovány jsou dvě varianty spoje. V prvním případě je spoj proveden pouze pomocí svorníku. V druhé variantě je spoj proveden pomocí svorníku s vloženými hmoždíky, což umožňuje použít menší průměr svorníku. Pro svorníky musí být předvrtán otvor o průměru o 1 mm větší než průměr svorníku, dále musí být pod hlavou svorníku podložka o průměru alespoň 3d a tloušťce minimálně 0,3d [6].

Svorníkový spoj s vloženými hmoždíky lze počítat pomocí norem ČSN EN 1995-1-1 [6] a ČSN EN 912 [9] nebo lze jednoduše vzít hodnotu z tabulek výrobců [12]. Únosnost uvažovaného spoje je v tomto případě vypočtena pomocí norem. Srovnání únosností vypočtených pomocí norem a převzatých z tabulek je uvedeno v příloze 2.

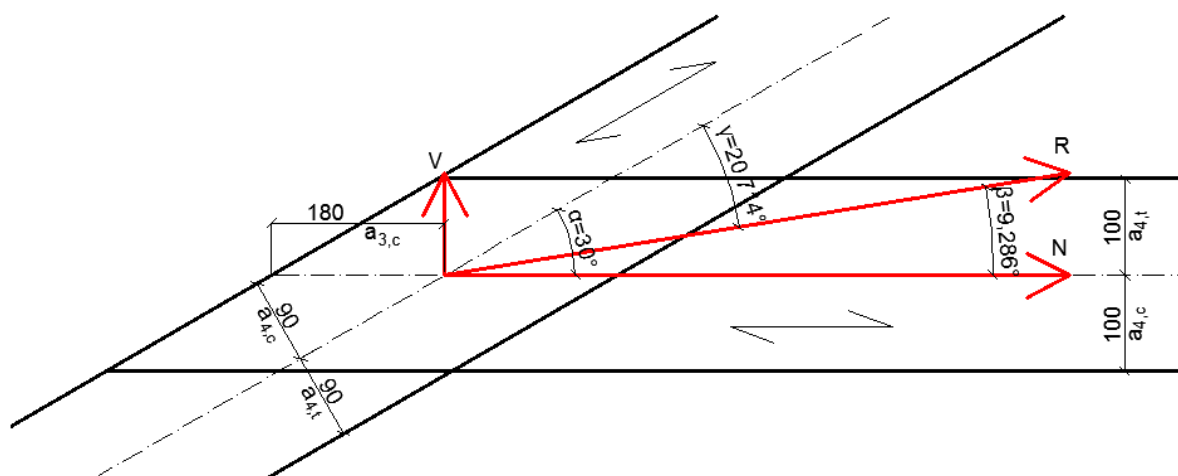
Pro posudek je rozhodující maximální normálová síla v druhé vazbě a příslušná posouvající síla.

rozhodující kombinace:

CO134	
zatěžovací	bezpečnostní
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
užitné na kleštinách	1,50
sníh 1	1,05
vítr L7	0,90

Posouzení dvojstřížného spoje pomocí svorníku

Schéma provedení spoje:



Obrázek 6.1 – schéma provedení spoje křeština – krokev a vnitřní síly

Parametry pro výpočet únosnosti svorníku:

třída pevnosti svorníku:	3.6
svorník:	M24
modifikační součinitel:	$k_{mod} = 0,9$
bezpečnostní součinitel:	$\gamma_M = 1,3$
charakteristická hustota spojovaných dřev:	$\rho_k = 350 \text{ kgm}^{-3}$
tloušťka prvního spojovaného dřeva (křeština):	$t_1 = 60 \text{ mm}$
tloušťka druhého spojovaného dřeva (krokev):	$t_2 = 100 \text{ mm}$
charakteristická pevnost svorníku:	$f_{u,k} = 300 \text{ MPa}$
průměr svorníku:	$d = 24 \text{ mm}$
minimální délka svorníku:	$l = 269,2 \text{ mm}$
počet svorníků:	$n = 1$
normálová síla:	$N = -21,650 \text{ kN}$
posouvající síla:	$V = 3,540 \text{ kN}$
výsledná síla:	$R = 21,938 \text{ kN}$
úhel sklonu krokev:	$\alpha = 30^\circ$
úhel mezi prvním dřevem (křeština) a silou:	$\beta = 9,286^\circ$
úhel mezi druhým dřevem (krokev) a silou:	$\gamma = 20,714^\circ$

Posouzení:

plastický moment únosnosti: $M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 300 \cdot 24^{2,6}$

$$M_{y,Rk} = 348\,972,93 \text{ Nmm}$$

pevnost v otláčení rovnoběžně s vlákny:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 24) \cdot 350 = 21,812 \text{ Nmm}^{-2}$$

součinitel:

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 24 = 1,71$$

pevnost v otláčení prvního dřeva:

$$f_{h,1,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \beta + \cos^2 \beta} = \frac{21,812}{1,71 \cdot \sin^2 9,286 + \cos^2 9,286}$$

$$f_{h,1,k} = 21,416 \text{ Nmm}^{-2}$$

pevnost v otláčení druhého dřeva:

$$f_{h,2,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \gamma + \cos^2 \gamma} = \frac{21,812}{1,71 \cdot \sin^2 20,714 + \cos^2 20,714}$$

$$f_{h,2,k} = 20,033 \text{ Nmm}^{-2}$$

poměr mezi pevnostmi v otláčení: $\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{20,033}{21,416} = 0,935$

charakteristická únosnost jednoho stříhu jednoho spojovacího prostředku:

Charakteristická osová únosnost spojovacího prostředku na vytažení $F_{ax,Rk}$ byla uvažován jako nula, na stranu bezpečnou.

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{0,5 f_{h,2,k} t_2 d} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 30\,839,13 \\ 24\,039,17 \\ 15\,999,94 \\ 21\,414,74 \end{array} \right\} = 15\,999,94 \text{ N} = 16 \text{ kN}$$

návrhová únosnost dvou stříhů všech spojovacích prostředků:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot n \cdot \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 2 \cdot 1 \cdot \frac{0,9 \cdot 16}{1,3} = 22,154 \text{ kN}$$

podmínka spolehlivosti:

$$R \leq R_{v,Rd}$$

$$21,938 \leq 22,154$$

SPOJ VYHOVUJE

Minimální rozteče a vzdálenosti od okrajů a konců:

rozteče	úhel	minimální rozteče	1. dřevo (kleština)		2. dřevo (krokev)	
			α	rozteč	α	rozteč
$a_{3,c}$	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$(1+6\sin \alpha)d$	170,71	--	--	--
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	4d		96		--
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(1+6\sin \alpha)d$		--		--
$a_{4,t}$	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max[(2+2\sin \alpha)d; 3d]$	170,71	72	159,29	72,00
$a_{4,c}$	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	3d	189,29	72	200,71	72,00

Tabulka 6.1 – minimální rozteče

Vzdálenosti jsou okótovány na obrázku 6.1.

Posouzení roztečí:

1. dřevo (kleština)				2. dřevo (krokev)			
rozteče	skutečné	minimální	posouzení	rozteče	skutečné	minimální	posouzení
$a_{3,c}$	230,00	96,00	vyhovuje	$a_{3,c}$	--	--	--
$a_{4,t}$	100,00	72,00	vyhovuje	$a_{4,t}$	90,00	72,00	vyhovuje
$a_{4,c}$	100,00	72,00	vyhovuje	$a_{4,c}$	90,00	72,00	vyhovuje

Tabulka 6.2 – posouzení minimálních roztečí

Posouzení dvojstřížného spoje pomocí svorníku s vloženými hmoždíky:

Schéma provedení je na obrázku 5.36.

Parametry pro výpočet únosnosti svorníku:

třída pevnosti svorníku:	3.6
svorník:	M16
modifikační součinitel:	$k_{mod} = 0,9$
bezpečnostní součinitel:	$\gamma_M = 1,3$
charakteristická hustota spojovaných dřev:	$\rho_k = 350 \text{ kgm}^{-3}$
tloušťka prvního spojovaného dřeva (kleština):	$t_1 = 60 \text{ mm}$
tloušťka druhého spojovaného dřeva (krokev):	$t_2 = 100 \text{ mm}$
charakteristická pevnost svorníku:	$f_{u,k} = 300 \text{ MPa}$
průměr svorníku:	$d = 24 \text{ mm}$
minimální délka svorníku:	$l = 269,2 \text{ mm}$
počet svorníků:	$n = 1$
normálová síla:	$N = -21,650 \text{ kN}$

posouvající síla:	$V = 3,540 \text{ kN}$
výsledná síla:	$R = 21,938 \text{ kN}$
úhel sklonu krokve:	$\alpha = 30^\circ$
úhel mezi prvním dřevem (kleština) a silou:	$\beta = 9,286^\circ$
úhel mezi druhým dřevem (krokev) a silou:	$\gamma = 20,714^\circ$

Výpočet únosnosti svorníku:

plastický moment únosnosti: $M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 300 \cdot 16^{2,6}$

$$M_{y,Rk} = 121\,605,85 \text{ Nmm}$$

pevnost v otláčení rovnoběžně s vlákny:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 350 = 24,108 \text{ Nmm}^{-2}$$

součinitel:

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 16 = 1,59$$

pevnost v otláčení prvního dřeva:

$$f_{h,1,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \beta + \cos^2 \beta} = \frac{21,812}{1,59 \cdot \sin^2 9,286 + \cos^2 9,286}$$

$$f_{h,1,k} = 23,743 \text{ Nmm}^{-2}$$

pevnost v otláčení druhého dřeva:

$$f_{h,2,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \gamma + \cos^2 \gamma} = \frac{21,812}{1,59 \cdot \sin^2 20,714 + \cos^2 20,714}$$

$$f_{h,2,k} = 22,451 \text{ Nmm}^{-2}$$

poměr mezi pevnostmi v otláčení:

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{22,451}{23,743} = 0,946$$

charakteristická únosnost jednoho stříhu jednoho spojovacího prostředku:

Charakteristická osová únosnost spojovacího prostředku na vytažení $F_{ax,Rk}$ byla uvažován jako nula.

$$F_{v,Rk}^S = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{0,5 f_{h,2,k} t_2 d} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right\}$$

$$F_{v,Rk}^S = \min \left\{ \begin{array}{l} 22\,793,50 \\ 17\,960,71 \\ 9\,875,66 \\ 10\,898,29 \end{array} \right\} = 9\,875,66 \text{ N} = 9,876 \text{ kN}$$

charakteristická únosnost dvou stříhů všech spojovacích prostředků:

$$F_{v,Rk}^s = 2 \cdot n \cdot F_{v,Rk}^s = 2 \cdot 1 \cdot 9,876 = 19,752 \text{ kN}$$

Parametry pro výpočet únosnosti hmoždíků:

typ hmoždíku:	C1
průměr hmoždíku:	$d_c = 50 \text{ mm}$
průměr středového otvoru:	$d_1 = 17 \text{ mm}$
průměr svorníku:	$d = 16 \text{ mm}$
hloubka vniku zubu:	$h_e = 6 \text{ mm}$
počet hmoždíků:	$n = 2$
modifikační součinitel:	$k_{mod} = 0,9$
bezpečnostní součinitel:	$\gamma_M = 1,3$
charakteristická hustota dřeva:	$\rho_k = 350 \text{ kgm}^{-3}$
tloušťka prvního spojovaného dřeva (kleština):	$t_1 = 60 \text{ mm}$
tloušťka druhého spojovaného dřeva (krokev):	$t_2 = 100 \text{ mm}$

Výpočet únosnosti hmoždíků:

součinitele:

$$k_1 = \min \left\{ \frac{1}{\frac{t_1}{3h_e}}, \frac{1}{\frac{t_2}{5h_e}} \right\} = \min \left\{ \frac{1}{\frac{60}{3 \cdot 6}}, \frac{1}{\frac{100}{5 \cdot 6}} \right\} = \min \left\{ 3,333, 3,333 \right\} = 1$$

$$a_{3,t} = \max \left\{ \frac{1,1d_c}{7d}, \frac{1,1 \cdot 50}{7 \cdot 16} \right\} = \max \left\{ \frac{55}{112}, \frac{55}{112} \right\} = 112$$

$$k_2 = \min \left\{ \frac{1}{\frac{a_{3,t}}{1,5d_c}}, \frac{1}{\frac{112}{1,5 \cdot 50}} \right\} = \min \left\{ 1,493, 1,493 \right\} = 1$$

$$k_3 = \min \left\{ \frac{1,5}{\frac{\rho_k}{350}}, \frac{1,5}{\frac{350}{350}} \right\} = \min \left\{ 1,5, 1,5 \right\} = 1$$

charakteristická únosnost jednoho hmoždíku:

$$F_{v,Rk}^h = 18 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot d_c^{1,5} = 18 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 50^{1,5}$$

$$F_{v,Rk}^h = 6,364 \text{ kN}$$

charakteristická únosnost všech hmoždíků: $F_{v,Rk}^h = n \cdot F_{v,Rk}^h = 2 \cdot 6,364 = 12,728 \text{ kN}$

celková návrhová únosnost všech spojovacích prostředků:

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot (F_{v,Rd}^s + F_{v,Rd}^h)}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot (19,872 + 12,728)}{1,3} = 22,569 \text{ kN}$$

podmínka spolehlivosti:

$$R \leq R_{v,Rd}$$

$$21,938 \leq 22,569$$

SPOJ VYHOVUJE

Minimální rozteče a vzdálenosti od okrajů a konců:

rozteče	úhel	minimální rozteče	1. dřevo (kleština)		2. dřevo (krokev)	
			α	rozteč	α	rozteč
$a_{3,c}$	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$(0,9+0,6l\sin \alpha)d_c$	170,71	--	--	--
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$1,2d_c$		60,00		--
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0,9+0,6l\sin \alpha)d_c$		--		--
$a_{4,t}$	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(0,6+0,2l\sin \alpha)d_c$	170,71	31,61	159,29	33,54
$a_{4,c}$	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0,6d_c$	189,29	30,00	200,71	30,00

Tabulka 6.3 – minimální rozteče

Vzdálenosti jsou okótovány na obrázku 6.1.

Posouzení roztečí:

1. dřevo (kleština)				2. dřevo (krokev)			
rozteče	skutečné	minimální	posouzení	rozteče	skutečné	minimální	posouzení
$a_{3,c}$	103,92	60,00	vyhovuje	$a_{3,c}$	--	--	--
$a_{4,t}$	100,00	31,61	vyhovuje	$a_{4,t}$	90,00	33,54	vyhovuje
$a_{4,c}$	100,00	30,00	vyhovuje	$a_{4,c}$	90,00	30,00	vyhovuje

Tabulka 6.4 – posouzení minimálních roztečí

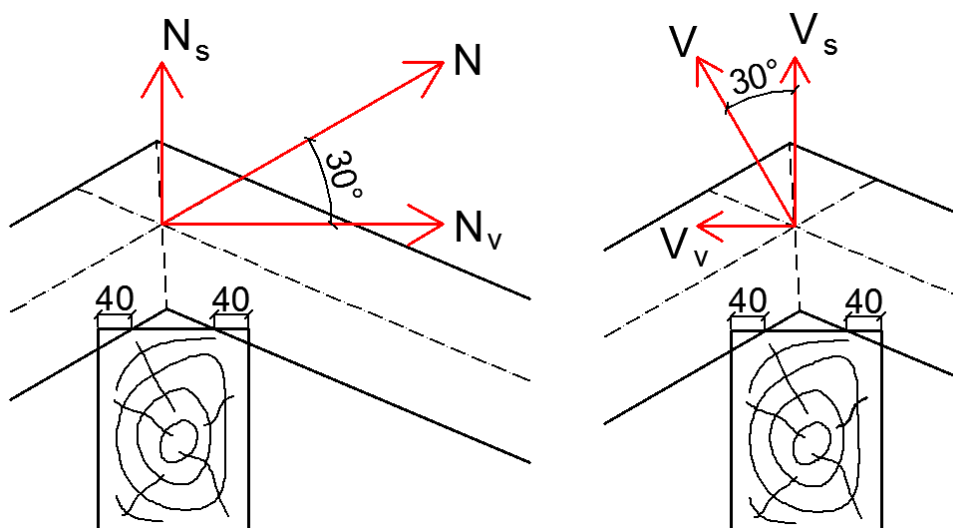
6.2 Spoj krokev – krokev

Spoj krokví ve vrcholu je proveden jako jednostřížný. Krokve jsou spojeny na sraz a z obou stran jsou zajištěny příložkou. Příložka je z OSB desky tloušťky 15mm. Jako spojovací prostředky jsou použity nerezové vruty o průměru 10mm délky 60mm. U vrutů takových rozměrů se musí otvor předvrtat. Pro závitovou část má být provedeno předvrtání o průměru 70% průměru dřívku a pro část s hladkým dřívkem se provede předvrtání stejného průměru a hloubky jako dřív [6]. Schéma provedení spoje je na obrázku 6.3.

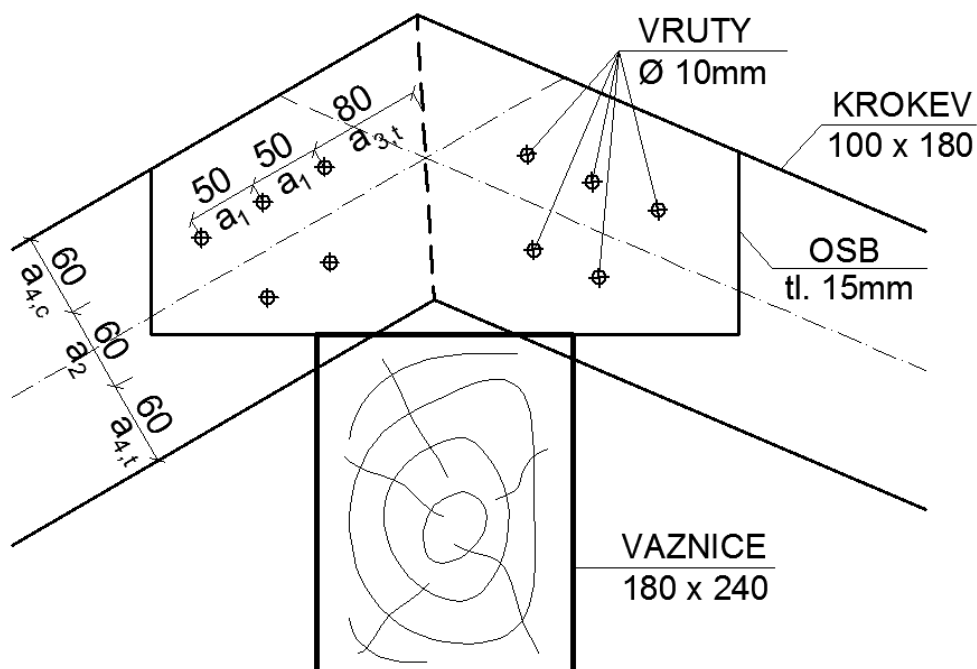
Pro návrh spoje je rozhodující maximální normálová síla v krokví první vazby a příslušná posouvající síla. Posouvající a normálová síla byla rozložena na vodorovnou a svislou složku jak je nakresleno na obrázku 6.2. Vruty byly posouzeny na výslednici vodorovných sil a na výslednici svislých sil je posouzeno otláčení vaznice.

Rozhodující kombinace:

CO006	
zatěžovací	bezpečnostní
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
užitné na krokách	1,50
užitné na kleštinách	1,50



Obrázek 6.2 – rozklad sil v krokách



Obrázek 6.3 schéma provedení spoje krokev – krokev

Výpočet svislé a vodorovné výslednice:

normálová síla:	$N = 23,41 \text{ kN}$
úhel sklonu krokve:	$\alpha = 30^\circ$
vodorovná složka normálové síly:	$N_v = N \cdot \cos \alpha = 23,41 \cdot \cos 30^\circ = 20,274 \text{ kN}$
svislá složka normálové síly:	$N_s = N \cdot \sin \alpha = 23,41 \cdot \sin 30^\circ = 11,705 \text{ kN}$
posouvající síla:	$N = 0,26 \text{ kN}$
úhel sklonu krokve:	$\alpha = 30^\circ$
vodorovná složka posouvající síly:	$V_v = V \cdot \sin \alpha = 0,26 \cdot \sin 30^\circ = 0,130 \text{ kN}$
svislá složka normálové síly:	$V_s = V \cdot \cos \alpha = 0,26 \cdot \cos 30^\circ = 0,225 \text{ kN}$
výsledná vodorovná složka:	$R_v = N_v - V_v = 20,274 - 0,13 = 20,144 \text{ kN}$
výsledná svislá složka:	$R_s = N_s + V_s = 11,705 + 0,225 = 11,930 \text{ kN}$

Výpočet únosnosti vrutů:

Parametry pro výpočet:

modifikační součinitel:	$k_{\text{mod}} = 0,9$
bezpečnostní součinitel:	$\gamma_M = 1,3$
třída pevnosti vrutu:	3.6
průměr vrutu:	$d = 10 \text{ mm}$
tloušťka prvního spojovaného dřeva (OSB deska):	$t_1 = 15 \text{ mm}$
charakteristická hustota prvního dřeva: (OSB deska):	$\rho_{k1} = 650 \text{ kgm}^{-3}$
tloušťka druhého spojovaného dřeva (krokev):	$t_2 = 45 \text{ mm}$
charakteristická hustota druhého dřeva (krokev):	$\rho_{k2} = 350 \text{ kgm}^{-3}$
charakteristická pevnost vrutu:	$f_{u,k} = 300 \text{ MPa}$
efektivní průměr vrutu:	$d_{\text{ef}} = 0,9 \cdot d = 6,3 \text{ mm}$
počet vrutů:	$n = 5$
výsledná vodorovná síla:	$R_v = 20,144 \text{ kN}$
úhel mezi vlákny krokve a silou:	$\beta = 30^\circ$

Výpočet:

plastický moment únosnosti: $M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 300 \cdot 10^{2,6}$

$$M_{y,Rk} = 27\,244,14 \text{ Nmm}$$

pevnost v otláčení OSB desky: $f_{h,1,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$
 $f_{h,1,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 10) \cdot 650 = 48,503 \text{ Nmm}^{-2}$

pevnost v otláčení krokve rovnoběžně s vlákny:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 10) \cdot 350 = 26,117 \text{ Nmm}^{-2}$$

součinitel:

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 10 = 1,485$$

pevnost v otláčení krokve:

$$f_{h,2,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \beta + \cos^2 \beta} = \frac{26,117}{1,485 \cdot \sin^2 30 + \cos^2 30}$$

$$f_{h,2,k} = 23,293 \text{ Nmm}^{-2}$$

poměr mezi pevnostmi v otláčení: $\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{23,293}{48,503} = 0,480$

charakteristická únosnost jednoho vrutu:

charakteristická osová únosnost spojovacího prostředku na vytažení $F_{ax,Rk}$ byla uvažován jako nula. (Pozn.: Vzhledem k nezanedbatelné únosnosti na vytažení vrutu, by bylo možné použít menší počet vrutů. Je, ale nutné ověřit si to výpočtem.)

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1+2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 6\,547,91 \\ 9\,433,57 \\ 3\,595,42 \\ 3\,260,05 \\ 4\,350,77 \\ 4\,517,84 \end{array} \right\} = 3\,260,05 \text{ N} = 3,260 \text{ kN}$$

návrhová únosnost všech spojovacích prostředků pro desku z obou stran:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot n \cdot \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 2 \cdot 5 \cdot \frac{0,9 \cdot 3,26}{1,3} = 22,570 \text{ kN}$$

podmínka spolehlivosti:

$$R_v \leq F_{v,Rd}$$

$$20,144 \leq 22,570$$

SPOJ VYHOVUJE

Minimální rozteče a vzdálenosti od okrajů a konců:

rozteče	úhel	minimální rozteče	2. dřevo (krokev)	
			<i>a</i>	rozteč
a_1	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4+l\cos \alpha)d$	30,00	43,79
a_2	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4d$	30,00	36
$a_{3,t}$	$-90^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$\max (7d; 80)$	30,00	80
$a_{4,t}$	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max [(2+2\sin \alpha)d; 3d]$	30,00	27
$a_{4,c}$	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$	210,00	27

Tabulka 6.5 – minimální rozteče

Vzdálenosti jsou okótovány na obrázku 6.3.

Posouzení roztečí:

2. dřevo (krokev)			
rozteče	skutečné	minimální	posouzení
a_1	50,00	43,79	vyhovuje
a_2	60,00	36,00	vyhovuje
$a_{3,t}$	80,00	80,00	vyhovuje
$a_{4,t}$	60,00	27,00	vyhovuje
$a_{4,c}$	60,00	27,00	vyhovuje

Tabulka 6.6 – posouzení roztečí

Posouzení otlačení vaznice:

návrhová pevnosti v tlaku vaznice kolmo k vláknům:

$$f_{c,90,d} = 1,869 \text{ MPa}$$

velikost osedlání:

$$h = 0,04 \text{ m}$$

šířka krokve:

$$b = 0,05 \text{ m}$$

přídavek od plastického přetvoření: $c = 2 \cdot 0,03 = 0,06 \text{ m}$

otlačovaná plocha:

$$A = b \cdot (h + c) = 0,04 \cdot (0,05 + 0,06) = 0,0044 \text{ m}^2$$

součinitel uspořádání zatížení:

$$k_{c,90} = 1,5$$

napětí v tlaku kolmo na vlákna:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{R_s}{A} = \frac{11,93}{0,004} = 2,711 \text{ MPa}$$

podmínka spolehlivosti:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

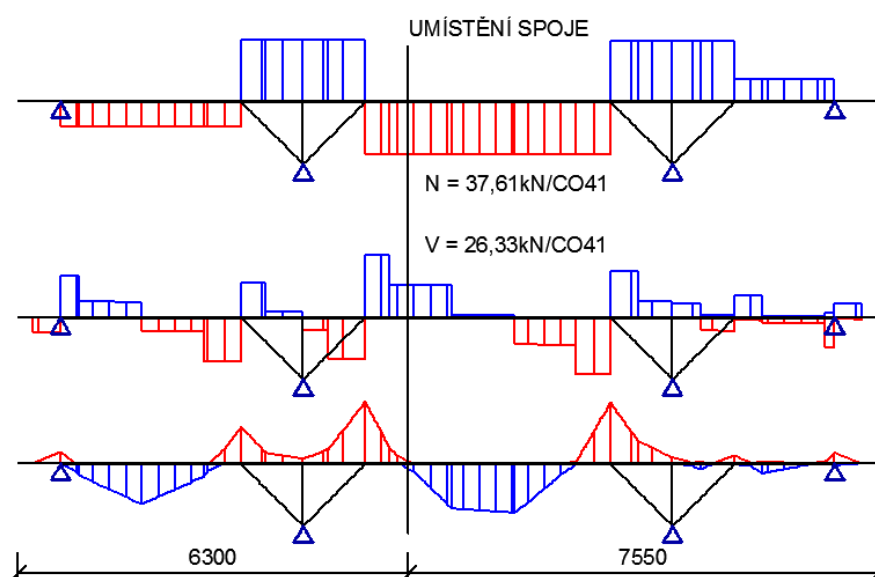
$$2,711 \leq 1,5 \cdot 1,869$$

$$2,711 \leq 2,804$$

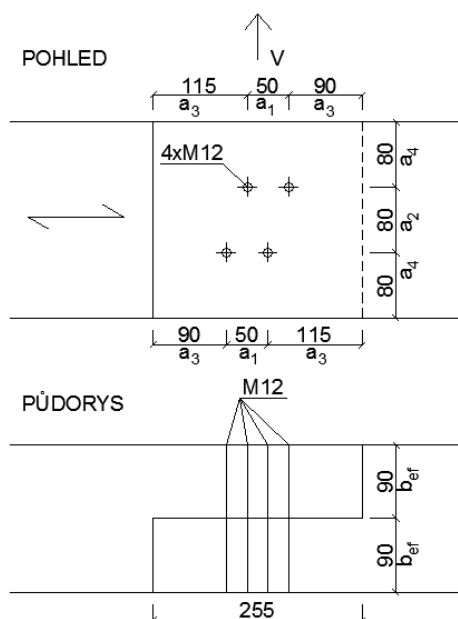
PRŮŘEZ VYHOVUJE

6.3 Spoj vaznice

Vaznice je ze dvou kusů dřeva, první délky 6,5m a druhé délky 7,7m, je tedy nutné provést jejich spojení. Spoj je proveden jako jednostřížný, spojovacími prostředky jsou 4 ocelové svorníky M12. Otvor pro svorníky musí být předvrtán, průměr předvrtání musí být o 1mm větší než průměr svorníku [6]. Spoj je umístěn v místě nulového momentu, umístění je nakresleno na obrázku 6.4. Svorníky byly posouzeny na příslušnou posouvající sílu. Normálová síla se přenesle kontaktem a posoudí se na ni oslabený průřez. Dále je nutné posoudit oslabený průřez na smyk. Schéma provedení spoje je zobrazeno na obrázku 6.5.



Obrázek 6.4 – schéma umístění spoje



Obrázek 6.5 – schéma provedení spoje

Posouzení jednostřížného svorníkového spoje:

Parametry pro výpočet:

modifikační součinitel:	$k_{\text{mod}} = 0,9$
bezpečnostní součinitel:	$\gamma_M = 1,3$
třída pevnosti svorníku:	3.6
průměr svorníku:	$d = 12 \text{ mm}$
tloušťka prvního spojovaného dřeva:	$t_1 = 90 \text{ mm}$
tloušťka druhého spojovaného dřeva:	$t_2 = 90 \text{ mm}$
charakteristická hustota dřeva	$\rho_k = 350 \text{ kgm}^{-3}$
charakteristická pevnost svorníku:	$f_{u,k} = 300 \text{ MPa}$
počet svorníků:	$n = 4$
posouvající síla:	$V = 25,33 \text{ kN}$
úhel mezi vlákny a silou:	$\alpha = 90^\circ$

Výpočet:

plastický moment únosnosti: $M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 300 \cdot 12^{2,6}$

$$M_{y,Rk} = 57\,559,07 \text{ Nmm}$$

pevnost v otláčení rovnoběžně s vlákny:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 350 = 25,256 \text{ Nmm}^{-2}$$

součinitel: $k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 12 = 1,530$

Obě dřeva se otláčují pod stejným úhlem, proto je pevnost v otláčení stejná a poměr mezi pevnostmi v otláčení je 1.

pevnost v otláčení: $f_{h,90,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{25,256}{1,53 \cdot \sin^2 90 + \cos^2 90}$

$$f_{h,90,k} = 16,507 \text{ Nmm}^{-2}$$

poměr mezi pevnostmi v otláčení: $\beta = \frac{f_{h,90,k}}{f_{h,90,k}} = \frac{16,507}{16,507} = 1$

charakteristická únosnost jednoho svorníku:

Charakteristická osová únosnost spojovacího prostředku na vytažení $F_{ax,Rk}$ byla uvažován jako nula.

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,1,k}t_1d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k}t_1d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k}dt_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k}t_2d}{1+2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k}dt_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk}f_{h,1,k}d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 17\,827,76 \\ 17\,827,76 \\ 7\,384,50 \\ 6\,894,08 \\ 6\,894,08 \\ 5\,491,57 \end{array} \right\} = 5\,491,57 \, N = 5,492 \, kN$$

návrhová únosnost všech spojovacích prostředků:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 4 \cdot \frac{0,9 \cdot 5,492}{1,3} = 30,415 \, kN$$

podmínka spolehlivosti:

$$V \leq F_{v,Rd}$$

$$25,330 \leq 30,415$$

SPOJ VYHOVUJE

Minimální rozteče a vzdálenosti od okrajů a konců:

rozteče	úhel	minimální rozteče	1. a 2. dřevo	
			α	rozteč
a_1	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4+l\cos \alpha)d$	90,00	48
a_2	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	4d	0,00	48
$a_{3,t}$	$-90^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$\max(7d; 80)$	90,00	84
$a_{3,c}$	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$(1+6\sin \alpha)d$	90,00	84
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	4d		--
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(1+6\sin \alpha)d$		--
$a_{4,t}$	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max[(2+2\sin \alpha)d; 3d]$	90,00	48
$a_{4,c}$	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	3d	270,00	36

Tabulka 6.7 – minimální rozteče

Vzdálenosti jsou okótovány na obrázku 6.5.

Posouzení roztečí:

1. dřevo			
rozteče	skutečné	minimální	posouzení
a ₁	50,00	48,00	vyhovuje
a ₂	80,00	48,00	vyhovuje
a _{3,t}	90,00	84,00	vyhovuje
a _{3,c}	90,00	84,00	vyhovuje
a _{4,t}	80,00	48,00	vyhovuje
a _{4,c}	80,00	36,00	vyhovuje

Tabulka 6.8 – posouzení roztečí

Posouzení tlaku v oslabeném průřezu:

návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,d} = 15,923 \text{ MPa}$$

šířka:

$$b_{ef} = 0,09 \text{ m}$$

výška:

$$h_{ef} = h - \phi = 0,24 - 0,012 = 0,228 \text{ m}$$

plocha:

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h_{ef} = 0,09 \cdot 0,228 = 0,021 \text{ m}^2$$

napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny: $\sigma_{c,0,d} = \frac{N}{A_{ef}} = \frac{37,61}{0,021} = 1,833 \text{ MPa}$

podmínka spolehlivosti:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

$$1,833 \leq 15,923$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

Posouzení smyku v oslabeném průřezu:

návrhová pevnost ve smyku:

$$f_{v,d} = 2,769 \text{ MPa}$$

šířka:

$$b_{ef,1} = 0,09 \text{ m}$$

součinitel vlivu trhlin:

$$k_{cr} = 0,67$$

efektivní šířka:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b_{ef,1} = 0,67 \cdot 0,09 = 0,0603 \text{ m}$$

výška:

$$h_{ef} = h - \phi = 0,24 - 0,012 = 0,228 \text{ m}$$

plocha:

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h_{ef} = 0,0603 \cdot 0,228 = 0,014 \text{ m}^2$$

napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny: $\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V}{A_{ef}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{25,33}{0,014} = 2,764 \text{ MPa}$

podmínka spolehlivosti:

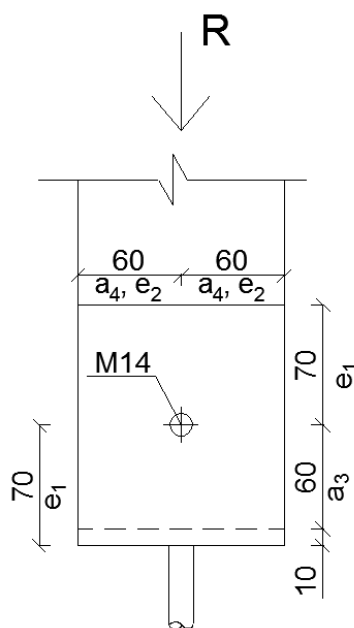
$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d}$$

$$2,764 \leq 2,769$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

6.4 Spoj sloupu s kotevní patkou

Spoj venkovního sloupu s kotevní patkou je navržen jako svorníkový dvojstrážný spoj ocel – dřevo. Je použit jeden svorník M14, ocelová deska musí být minimální tloušťky 2mm a musí se posoudit na tlak a otláčení. Otvor v ocelové desce i ve dřevě musí být předvrtán, v ocelové desce musí být o 2mm větší a ve dřevě o 1mm větší než průměr svorníku [6]. Schéma provedení spoje je na obrázku 6.6. Spoj se posoudí na reakci z pozednice.



Obrázek 6.6 – schéma kotvení sloupu

Posouzení svorníkového spoje:

Parametry pro výpočet:

charakteristická hustota dřeva:	$\rho_k = 350 \text{ kgm}^{-3}$
třída pevnosti svorníku:	3.6
svorník:	M14
pevnostní třída plechu:	S235
mez kluzu plechu:	$f_y = 235 \text{ MPa}$
pevnost plechu:	$f_u = 360 \text{ MPa}$
charakteristická pevnost svorníku:	$f_{u,k} = 300 \text{ MPa}$
tloušťka plechu:	$t_1 = 2 \text{ mm}$
šířka průřezu spojovaného dřeva:	$t_2 = 120 \text{ mm}$
výška průřezu spojovaného dřeva:	$h = 120 \text{ mm}$
průměr svorníku:	$d = 14 \text{ mm}$

průměr otvoru v plechu:	$d_0 = 16 \text{ mm}$
minimální délka svorníku:	$l = 154,2 \text{ mm}$
počet svorníků:	$n = 1$
reakce z pozednice:	$N = 11,73 \text{ kN}$
úhel mezi vlákny dřeva a silou:	$\alpha = 0^\circ$

Výpočet:

plastický moment únosnosti: $M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 300 \cdot 14^{2,6}$

$$M_{y,Rk} = 85\,936,05 \text{ Nmm}$$

pevnost v otláčení dřeva rovnoběžně s vlákny:

$$f_{h,2,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,2,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 14) \cdot 350 = 24,682 \text{ Nmm}^{-2}$$

Síla působí rovnoběžně s vlákny, otláčení se tedy nemusí dále přepočítávat.

charakteristická únosnost jednoho stříhu jednoho svorníku:

Charakteristická osová únosnost spojovacího prostředku na vytažení $F_{ax,Rk}$ byla uvažován jako nula.

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0,5 f_{h,2,k} t_2 d}{1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{20\,732,88}{9\,416,37} \right\} = 9\,416,37 \text{ N} = 9,416 \text{ kN}$$

návrhová únosnost všech spojovacích prostředků pro desku z obou stran:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot n \cdot \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 2 \cdot 1 \cdot \frac{0,9 \cdot 9,416}{1,3} = 13,038 \text{ kN}$$

podmínka spolehlivosti:

$$R \leq F_{v,Rd}$$

$$11,730 \leq 13,038$$

SPOJ VYHOVUJE

Minimální rozteče a vzdálenosti od okrajů a konců:

rozteče	úhel	minimální rozteče	1. dřevo	
			α	rozteč
$a_{3,c}$	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$(1+6\sin \alpha)d$	180,00	--
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	4d		56,00
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(1+6\sin \alpha)d$		--
$a_{4,t}$	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max[(2+2\sin \alpha)d; 3d]$	90,00	56,00
$a_{4,c}$	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	3d	270,00	42,00

Tabulka 6.9 – minimální rozteče

Vzdálenosti jsou okótovány na obrázku 6.6.

Posouzení roztečí:

1. dřevo			
rozteče	skutečné	minimální	posouzení
$a_{3,c}$	60,00	56,00	vyhovuje
$a_{4,t}$	60,00	56,00	vyhovuje
$a_{4,c}$	60,00	42,00	vyhovuje

Tabulka 6.10 – posouzení roztečí

Únosnost ocelové desky v tlaku:

oslabená plocha:

$$A_{net} = 2 \cdot t_1 \cdot (h - d) = 2 \cdot 0,002 \cdot (0,12 - 0,014)$$

$$A_{net} = 0,000424 \text{ m}^2$$

únosnost desky v tlaku:

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,000424 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 99,640 \text{ kN}$$

podmínka spolehlivosti:

$$R \leq N_{c,Rd}$$

$$11,730 \leq 99,640$$

SPOJ VYHOVUJE

Otlačení plechu:

rozteče:

$$e_1 = 70 \text{ mm}$$

$$e_2 = 60 \text{ mm}$$

$$p_1 = - \text{ mm}$$

$$p_2 = - \text{ mm}$$

součinitele:

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{c} \frac{f_{u,k}}{f_u} \\ 1 \\ \frac{e_1}{3d_0} \\ \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{c} \frac{300}{360} \\ 1 \\ \frac{70}{3 \cdot 16} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{c} 0,833 \\ 1,000 \\ 1,458 \\ - \end{array} \right\}$$

$$\alpha_b = 0,833$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{c} 2,5 \\ 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{c} 2,5 \\ 2,8 \frac{60}{16} - 1,7 \\ - \end{array} \right\}$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{c} 2,500 \\ 8,800 \\ - \end{array} \right\} = 2,5$$

únosnost v otláčení plechu:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot 2 \cdot t_1}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,833 \cdot 360 \cdot 14 \cdot 2 \cdot 2}{1,25} = 33,6 \text{ kN}$$

podmínka spolehlivosti:

$$R \leq F_{b,Rd}$$

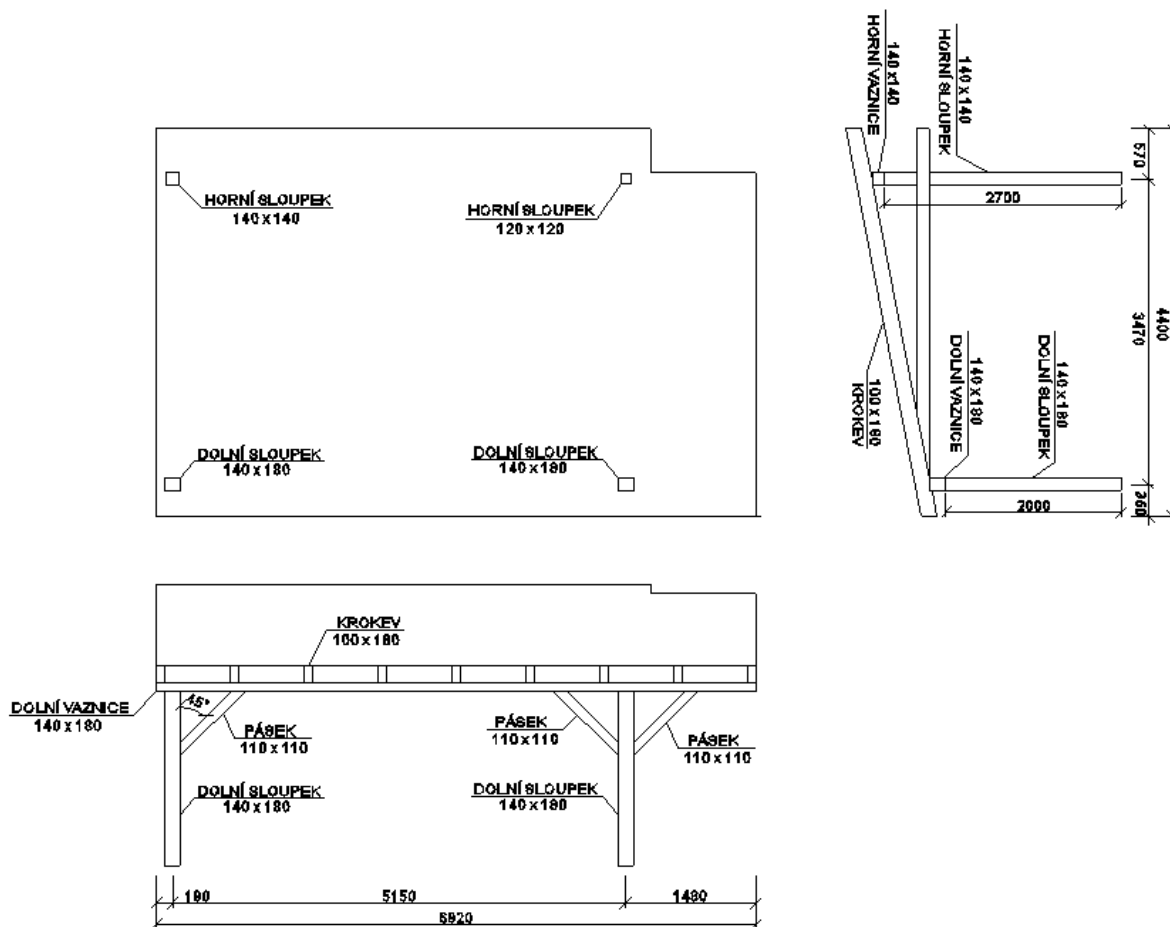
$$11,730 \leq 33,600$$

SPOJ VYHOVUJE

7. Přístřešek pro auta

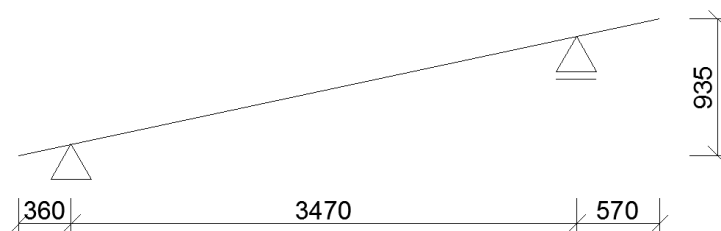
Přístřešek je stávající dřevěná konstrukce přiléhající k rodinnému domu. Po výstavbě krovu vznikne na přístřešku nový zatěžovací stav a to mimořádné zatížení padajícím sněhem. Je tedy nutné posoudit i prvky tohoto přístřešku a v případě nevyhovujících posudků navrhnout vhodné řešení.

Geometrie a rozměry jednotlivých prvků jsou zobrazeny na obrázku 7.1.

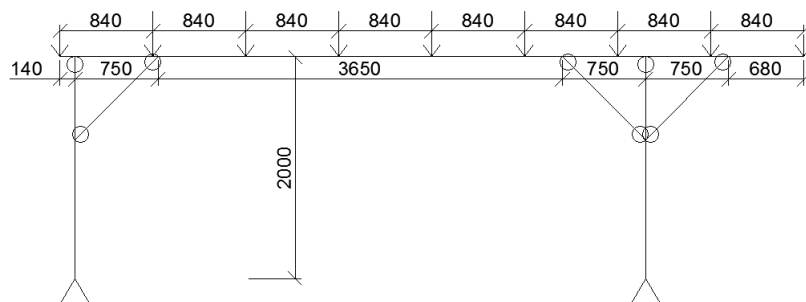


Obrázek 7.1 – geometrie přístřešku pro auta

Statické schéma pro výpočet vnitřních sil krokve, vaznice a sloupků jsou na obrázku 7.2 a 7.3. Na obrázku je znázorněno statické schéma dolní vaznice a sloupků, statické schéma horní vaznice a sloupků je totožné, s rozdílem že výška sloupků je o 0,7m větší.



Obrázek 7.2 – statické schéma krokve



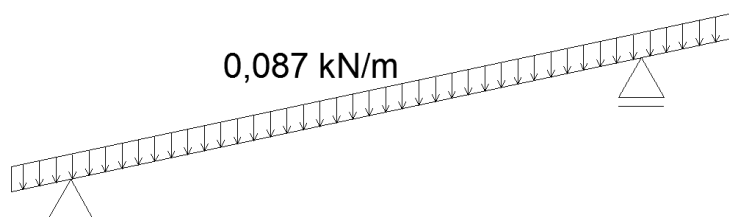
Obrázek 7.3 – statické schéma vaznice

7.1 Stálé zatížení

Stálé zatížení krokví je uvedeno v tabulce 7.1, bylo vypočteno dle normy ČSN EN 1991-1-1 [3]. Vlastní tíha krokví se nezadá jako stálé zatížení, ale jako vlastní tíha, kterou si program Scia Engineer vypočte sám, dle zadaných profilů. Stálé zatížení krokví je zobrazeno na obrázku 7.4.

KROKVE					
vrstva	výška [m]	objemová tíha [kNm ⁻³]	plošná tíha [kNm ⁻²]	roznášecí šířka b_r [m]	charakteristická hodnota zatížení g_k [kNm ⁻¹]
hliníková krytina			0,002	0,840	0,002
fólie			0,002	0,840	0,002
palubky	0,020	5,000		0,840	0,084
celkem				$\sum g_k =$	0,087

Tabulka 7.1 – stálé zatížení na krokve



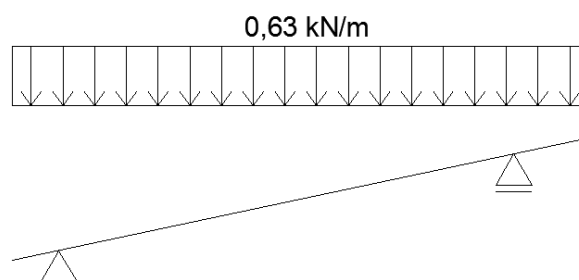
Obrázek 7.4 – stálé zatížení na krokách

7.2 Užité zatížení

Střecha byla zařazena do kategorie H, což jsou nepřístupné střechy s výjimkou běžné údržby. V tabulce 7.2 je uvedena hodnota užitého zatížení a zatěžovací stav je zobrazen na obrázku 7.5.

zařazení	plošná tíha [kNm ⁻²]	roznášecí šířka b_r [m]	charakteristická hodnota zatížení g_k [kNm ⁻¹]
střecha kategorie H	0,750	0,840	0,630

Tabulka 7.2 – užité zatížení na krokách



Obrázek 7.5 – užité zatížení na krokách

7.3 Nahodilé zatížení

Zatížení sněhem

Pro objekt jsou důležité dvě návrhové situace, první za normálních podmínek a druhá za výjimečných podmínek, což je spád sněhu z přiléhající budovy.

Návrhová situace za normálních podmínek:

Parametry pro výpočet zatížení sněhem byly stanoveny dle normy ČSN EN 1991-1-3 [4] a jsou uvedeny v tabulce 4.3.

sněhová oblast:	II	
typ krajiny:	normální	
sklon střechy α_1 :	$\alpha_1 =$	12 °
součinitel expozice	$C_e =$	1,000
tepelný součinitel	$C_t =$	1,000 Wm ⁻² K ⁻¹
charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi	$s_k =$	1,050 kNm ⁻²
tvarový součinitel zatížení sněhem	$\mu_{1,\alpha 1} =$	0,800
tvarový součinitel zatížení sněhem	$\mu_{1,\alpha 2} =$	0,800

Tabulka 7.3 – parametry pro výpočet zatížení sněhem

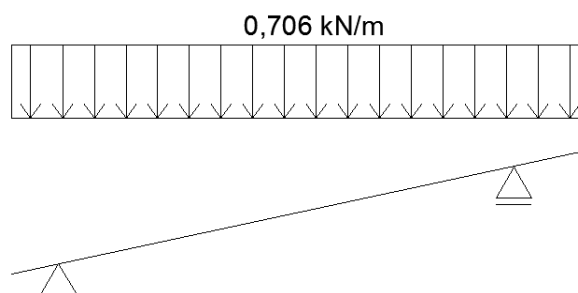
Charakteristická hodnota zatížení sněhem:

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,800 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,050 = 0,840 \text{ kNm}^{-2}$$

Charakteristická hodnota zatížení pro krokve je uvedena v tabulce 7.4. Zatěžovací stav je nakreslen na obrázku 7.6.

prvek	plošná tíha	roznášecí šířka b_r	charakteristická hodnota zatížení s_k
	[kNm ⁻²]	[m]	[kNm ⁻¹]
krokve	0,840	0,840	0,706

Tabulka 7.4 – Zatížení sněhem



Obrázek 7.6 – zatížení sněhem na krokách

Mimořádná návrhová situace:

Tato situace reprezentuje spád sněhu z přiléhající vyšší budovy. Výpočet byl proveden dle normy ČSN EN 1991-1-3 [4], příloha B.

délka přístřešku: $b_1 = 4,4 \text{ m}$

délka přiléhající budovy: $b_2 = 9,2 \text{ m}$

výškový rozdíl střech: $h = 2,59 \text{ m}$

sklon střechy: $\alpha = 12^\circ$

charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi: $s_k = 1,05 \text{ kNm}^{-2}$

délka návěje: $l_s = \min \left\{ \frac{5h}{b_1}, \frac{5 \cdot 2,59}{4,4} \right\} = \min \left\{ \frac{12,2}{4,4}, \frac{12,2}{15} \right\} = 4,4 \text{ m}$

maximální délka: $b = \max \{b_1, b_2\} = \max \{4,4, 9,2\} = 9,2 \text{ m}$

tvarový součinitel: $\mu_3 = \min \left\{ 2 \frac{h}{s_k}, 2 \frac{b}{l_s} \right\} = \min \left\{ 2 \frac{2,59}{1,05}, 2 \frac{9,2}{4,4} \right\} = \min \left\{ 4,653, 4,182 \right\}$

$$\mu_3 = 4,182$$

tvarové součinitele: $\mu_1 = 4,182$

$$\mu_2 = 4,182$$

Pro sklony střech větších nebo rovny 0° a menších nebo rovny 15° jsou tvarové součinitele μ_1 a μ_2 rovny μ_3 .

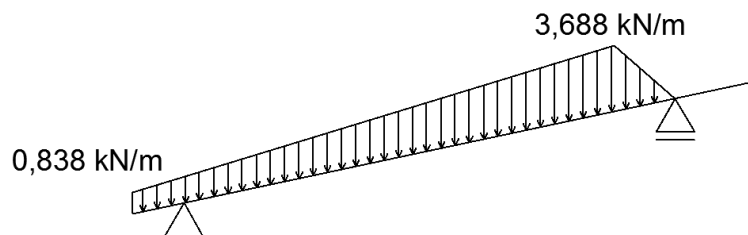
Charakteristická hodnota zatížení sněhem:

$$s = \mu_1 \cdot s_k = 4,182 \cdot 1,050 = 4,391 \text{ kNm}^{-2}$$

Charakteristická hodnota zatížení pro krokve je uvedena v tabulce 7.5. Zatěžovací stav je nakreslen na obrázku 7.7.

prvek	plošná tíha [kNm ⁻²]	roznášecí šířka b_r [m]	charakteristická hodnota zatížení s_k [kNm ⁻¹]
krokve	4,391	0,840	3,688

Tabulka 7.5 – Zatížení mimořádným spadem sněhu



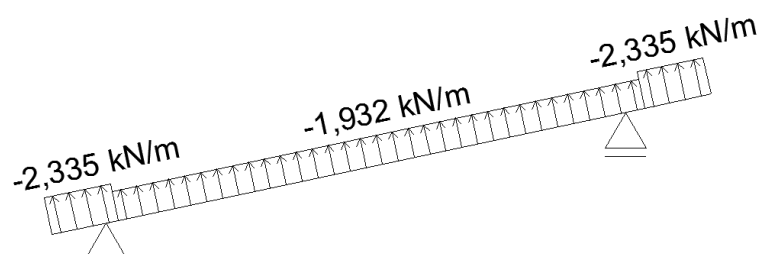
Obrázek 7.7 – zatížení mimořádným spadem sněhu

Zatížení větrem

Zatížení větrem bylo počítáno dle normy ČSN EN 1991-1-4 [5], jako zatížení pro přístřešky. Tlak větru je uveden v tabulce 7.6, součinitel plnosti $\phi = 1$ což představuje obsahem úplně uzavřený závětrný průřez, v tomto případě je to stěna přiléhajícího domu. Zatěžovací stav větrem je na obrázku 7.8.

oblast	tlak větru $c_{p,net}$ [kNm ⁻²]	roznášecí šířka b_r [m]	charakteristická hodnota zatížení w_k [kNm ⁻¹]
A	-2,300	0,840	-1,932
B	-2,760	0,840	-2,318
C	-2,780	0,840	-2,335

Tabulka 7.6 – tlaky větru na konstrukci



Obrázek 7.8 – zatěžovací stav větrem

8. Statické posouzení přístřešku pro auta

charakteristika materiálu a prostředí:

materiál: rostlé dřevo třídy C24

5% kvantil modulu pružnosti: $E_{0,05} = 7400 \text{ MPa}$

zatížení: okamžikové

třída provozu: 3

součinitel spolehlivosti: $\gamma_m = 1,3$

modifikační součinitel: $k_{mod} = 0,9$

charakteristické pevnosti materiálu

ohyb: $f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$

tah rovnoběžně s vlákny: $f_{t,0,k} = 14 \text{ MPa}$

tlak rovnoběžně s vlákny: $f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa}$

tlak kolmo na vlákna: $f_{c,90,k} = 0,4 \text{ MPa}$

smyk: $f_{v,k} = 4 \text{ MPa}$

návrhové pevnosti materiálu

ohyb: $f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{24 \cdot 0,9}{1,3} = 16,615 \text{ MPa}$

tah rovnoběžně s vlákny: $f_{t,0,d} = \frac{f_{t,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{14 \cdot 0,9}{1,3} = 9,692 \text{ MPa}$

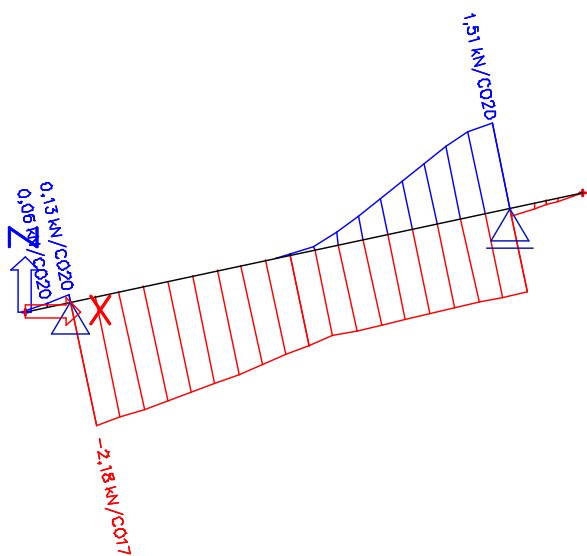
tlak rovnoběžně s vlákny: $f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{21 \cdot 0,9}{1,3} = 14,538 \text{ MPa}$

tlak rovnoběžně s vlákny: $f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{0,4 \cdot 0,9}{1,3} = 0,277 \text{ MPa}$

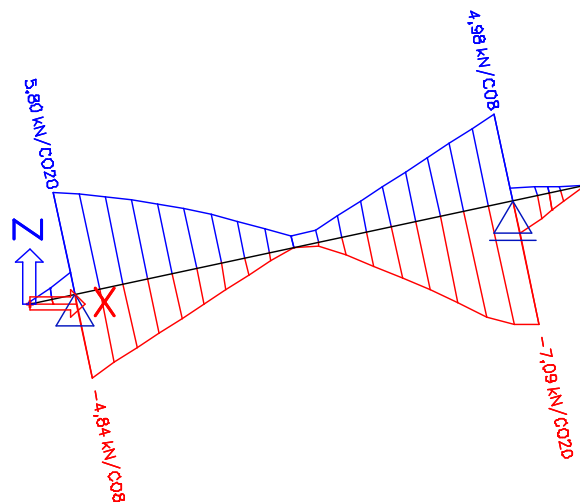
smyk: $f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{4 \cdot 0,9}{1,3} = 2,769 \text{ MPa}$

8.1 Krokve přístřešku

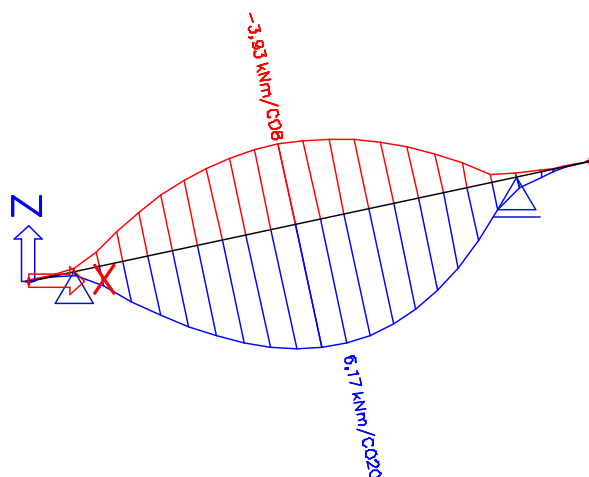
K výpočtu vnitřních sil byl použit program Scia Engineer, který vytvořil z jednotlivých zatěžovacích stavů 24 kombinací. Obalové křivky vnitřních sil jsou na obrázcích 8.1 až 8.3.



Obrázek 8.1 – obalová křivka normálových sil



Obrázek 8.2 – obalová křivka posouvajících sil



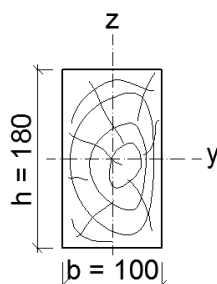
Obrázek 8.3 – obalová křivka ohybových momentů

Posouzení mezního stavu únosnosti

návrh průřezu:

$$h = 180 \text{ mm}$$

$$b = 100 \text{ mm}$$



průřezové charakteristiky

plocha:	$A = h \cdot b = 0,18 \cdot 0,1 = 0,018 \text{ m}^2$
průřezový modul:	$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,1 \cdot 0,18^2 = 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$
moment setrvačnosti k ose y:	$I_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{6} \cdot 0,1 \cdot 0,18^3 = 4,86 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$
poloměr setrvačnosti k ose y:	$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{4,86 \cdot 10^{-5}}{0,018}} = 0,052 \text{ m}$
moment setrvačnosti k ose z:	$I_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{6} \cdot 0,18 \cdot 0,1^3 = 1,50 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$
poloměr setrvačnosti k ose z:	$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{1,5 \cdot 10^{-5}}{0,018}} = 0,029 \text{ m}$

posouzení maximálního kladného momentu

Prvek je posouzen na kombinaci ohybového momentu a tahu.

rozhodující kombinace:

CO020	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
mimořádný sníh	1,50

ohybový moment:	$M = 6,17 \text{ kNm}$
normálová síla:	$N = 0,05 \text{ kN}$
napětí od ohybu:	$\sigma_{m,y,d} = \frac{M}{W_y} = \frac{6,17 \cdot 10^{-3}}{5,4 \cdot 10^{-4}} = 11,426 \text{ MPa}$
napětí od normálové síly:	$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A} = \frac{0,05 \cdot 10^{-3}}{0,018} = 0,003 \text{ MPa}$
podmínka spolehlivosti:	$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$ $\frac{11,426}{16,615} + \frac{0,003}{9,692} \leq 1$ $0,688 \leq 1$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení maximálního záporného momentu

Prvek je posouzen na kombinaci ohybu a tlaku.

rozhodující kombinace:

CO008	
zatěžovací	bezpečnostní
vlastní tíha	1,00
stálé	1,00
vítr	1,50

ohybový moment:

$$M = -3,93 \text{ kNm}$$

normálová síla:

$$N = -1,53 \text{ kN}$$

délka nosníku:

$$l = 3,55 \text{ m}$$

vzpěrná délka:

$$L_{cr,z} = 3,55 \text{ m}$$

štíhlostní poměr:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3,55}{0,029} = 122,976$$

poměrný štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{122,976}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 2,085$$

součinitel přímosti:

$$\beta_c = 0,2$$

součinitel vzpěrnosti:

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2]$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (2,085 - 0,3) + 2,085^2] = 2,853$$

součinitel vzpěrnosti:

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{2,853 + \sqrt{2,853^2 - 2,085^2}} = 0,208$$

účinná délka:

$$l_{ef} = \frac{l_{ef}}{l} \cdot l = 0,9 \cdot 3,55 = 3,195 \text{ m}$$

kritické napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,1^2}{0,18 \cdot 3,195} \cdot 7400$$

$$\sigma_{m,crit} = 100,365 \text{ MPa}$$

poměrná štíhlost v ohybu:

$$\gamma_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{100,365}} = 0,489$$

součinitel pro příčnou a torzní stabilitu pro $\gamma_{rel,m} \leq 0,75$:

$$k_{crit} = 1$$

napětí od normálové síly:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N|}{A} = \frac{|-1,53 \cdot 10^{-3}|}{0,018} = 0,218 \text{ MPa}$$

napětí od ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M}{W_y} = \frac{|-3,93 \cdot 10^{-3}|}{5,4 \cdot 10^{-4}} = 2,833 \text{ MPa}$$

podmínka spolehlivosti:

$$\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{2,833}{16,616} \right)^2 + \frac{0,218}{0,208 \cdot 14,538} \leq 1$$

$$0,101 \leq 1$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení maximální tlakové síly

Prvek je posouzen na kombinaci tlaku a ohybu. U výpočtu bylo uvažováno i se vzpěrem.

rozhodující kombinace:

CO017	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
vítr	1,50
mimořádný sníh	0,75

ohybový moment:

$$M = 0,18 \text{ kNm}$$

normálová síla:

$$N = -2,18 \text{ kN}$$

vzpěrná délka:

$$L_{cr,y} = 3,55 \text{ m}$$

štíhlostní poměr:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3,55}{0,052} = 68,320$$

poměrný štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{68,32}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,158$$

součinitel přímosti:

$$\beta_c = 0,2$$

součinitel vzpěrnosti:

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,158 - 0,3) + 1,158^2] = 1,257$$

součinitel vzpěrnosti:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,257 + \sqrt{1,257^2 - 1,158^2}} = 0,574$$

napětí od normálové síly:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N|}{A} = \frac{|-2,18 \cdot 10^{-3}|}{0,018} = 0,121 \text{ MPa}$$

napětí od ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M}{W_y} = \frac{|0,18 \cdot 10^{-3}|}{5,4 \cdot 10^{-4}} = 0,333 \text{ MPa}$$

podmínka spolehlivosti:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,333}{16,615} + \frac{0,121}{0,574 \cdot 14,538} \leq 1$$

$$0,035 \leq 1$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení maximálního tahu

Prvek je posouzen na kombinaci ohybového momentu a tahu.

rozhodující kombinace:

CO020	
zatěžovací	bezpečnostní
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
mimořádný sníh	1,50

ohybový moment:

$$M = -0,03 \text{ kNm}$$

normálová síla:

$$N = 1,51 \text{ kN}$$

napětí od ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{|M|}{W_y} = \frac{|-0,03| \cdot 10^{-3}}{5,4 \cdot 10^{-4}} = 0,056 \text{ MPa}$$

napětí od normálové síly:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A} = \frac{1,51 \cdot 10^{-3}}{0,018} = 0,084 \text{ MPa}$$

podmínka spolehlivosti:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,056}{16,615} + \frac{0,084}{9,692} \leq 1$$

$$0,012 \leq 1$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení maximální posouvající síly

rozhodující kombinace:

CO020	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
mimořádný sníh	1,50

posouvající síla:

$$V = -7,09 \text{ kN}$$

součinitel zohledňující vliv trhlin:

$$k_{cr} = 0,67$$

účinná šířka prvku:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,1 = 0,067 \text{ m}$$

účinná plocha prvku:

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,067 \cdot 0,18 = 0,012 \text{ m}^2$$

smykové napětí:

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{|V|}{A_{ef}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{|-7,09| \cdot 10^{-3}}{0,012} = 0,882 \text{ MPa}$$

podmínka spolehlivosti:

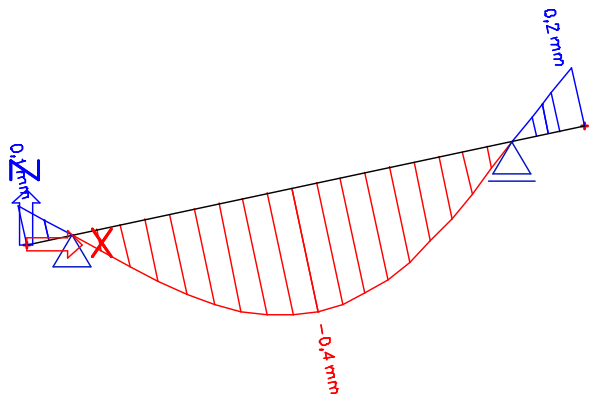
$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d}$$

$$0,882 \leq 2,769$$

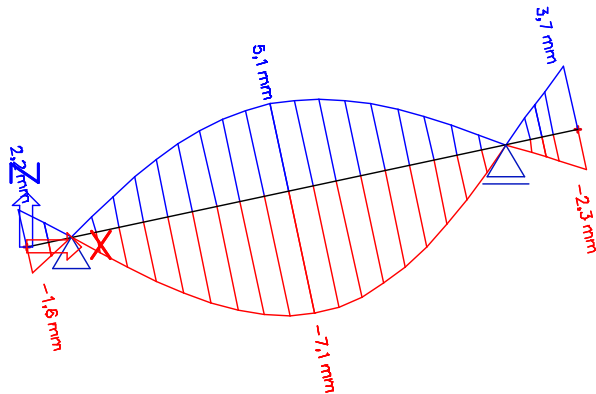
PRŮŘEZ VYHOVUJE

Posouzení mezního stavu použitelnosti

Průhybové křivky od stálého a nahodilého zatížení byly vypočteny v programu Scia Engineer a jsou na obrázcích 8.4 a 8.5.



Obrázek 8.4 – průhyb krokvi od stálého zatížení



Obrázek 8.5 – průhyb krokvi od nahodilého zatížení

posouzení pole

délka pole: $l = 3550 \text{ mm}$

součinitel dotvarování: $k_{def} = 2$

součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení $\psi_2 = 0$

okamžitý průhyb

od stálého zatížení: $w_{inst,G} = -0,4 \text{ mm}$

od okamžitého zatížení: $w_{inst,Q} = -7,1 \text{ mm}$

výsledný okamžitý průhyb: $w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = -0,4 + (-7,1)$

$$w_{inst} = -7,5 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti: $|w_{inst}| \leq \frac{l}{300}$

$$|-7,5| \leq \frac{3550}{300}$$

$$7,500 \leq 11,833$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

konečný průhyb

od stálého zatížení: $w_{net,fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = -0,4 \cdot (1 + 2)$

$$w_{net,fin,G} = -1,2 \text{ mm}$$

od nahodilého zatížení: $w_{net,fin,Q} = w_{inst,Q} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def})$

$$w_{net,fin,Q} = -7,1 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = -7,1 \text{ mm}$$

výsledný konečný průhyb:

$$w_{net,fin} = w_{net,fin,G} + w_{net,fin,Q}$$

$$w_{net,fin} = -1,2 + (-7,1) = -8,3 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti:

$$|w_{net,fin}| \leq \frac{l}{250}$$

$$|-8,3| \leq \frac{3550}{250}$$

$$8,300 \leq 14,200$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení převislého

délka pole:

$$l = 580 \text{ mm}$$

okamžitý průhyb

od stálého zatížení:

$$w_{inst,G} = 0,2 \text{ mm}$$

od okamžitého zatížení:

$$w_{inst,Q} = 3,7 \text{ mm}$$

výsledný okamžitý průhyb:

$$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = 0,2 + 3,7 = 3,9 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti:

$$|w_{inst}| \leq \frac{l}{300}$$

$$|3,9| \leq \frac{580}{150}$$

$$3,900 \leq 3,867$$

PRŮŘEZ NEVYHOVUJE

Výpočtový model je zjednodušený a ve skutečném provedení takový průhyb nenastane.

8.2 Dolní vaznice a sloupky přístřešku

K výpočtu vnitřních sil byl použit program Scia Engineer, který vytvořil z jednotlivých zatěžovacích stavů 42 kombinací. Vaznice je zatížena reakcemi z krokví. Statické schéma je na obrázku. Na krajích jsou síly o polovinu menší. Obalové křivky vnitřních sil jsou na obrázcích 8.6 až 8.8.

Zatěžovací stavy na vaznici

zatížení stálé

$$R_{k,1} = 0,310 \text{ kN}$$

$$R_{k,2} = 0,155 \text{ kN}$$

zatížení sních

$$R_{k,1} = 1,460 \text{ kN}$$

$$R_{k,2} = 0,730 \text{ kN}$$

zatížení užité

$$R_{k,1} = 1,300 \text{ kN}$$

$$R_{k,2} = 0,650 \text{ kN}$$

zatížení větrem

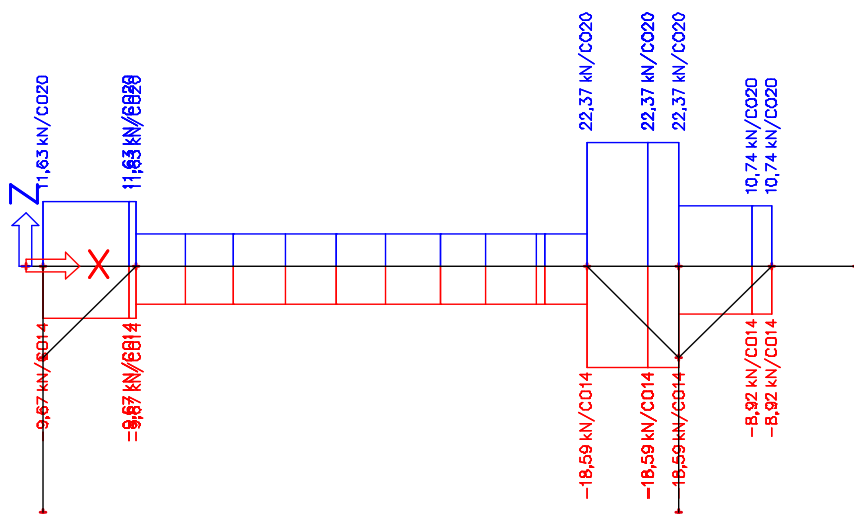
$$R_{k,1} = -3,950 \text{ kN}$$

$$R_{k,2} = -1,975 \text{ kN}$$

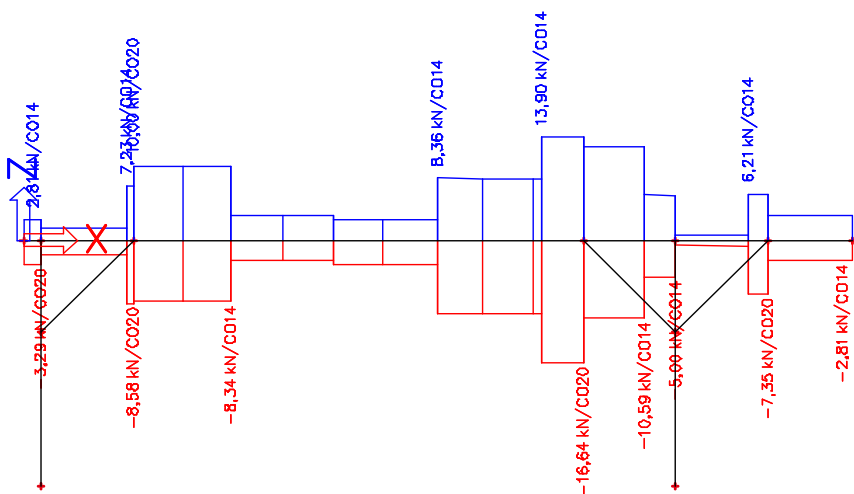
zatížení mimořádným sněhem

$$R_{k,1} = 4,090 \text{ kN}$$

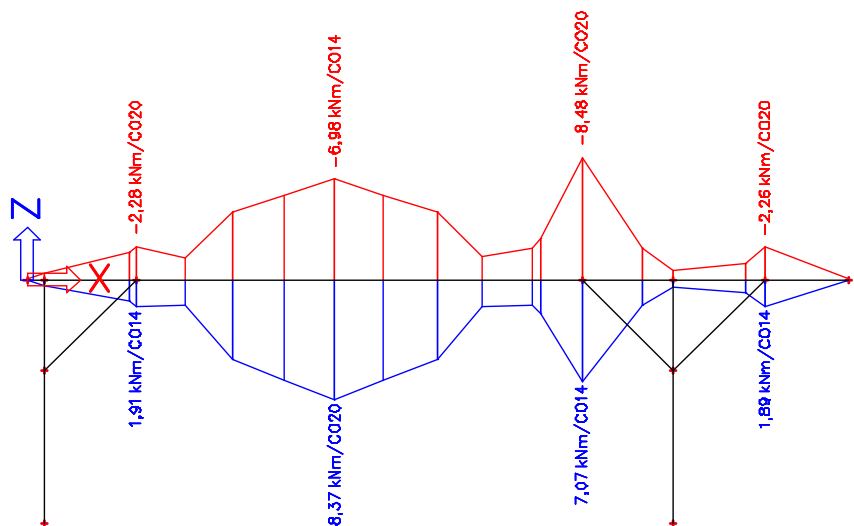
$$R_{k,2} = 2,045 \text{ kN}$$



Obrázek 8.6 – obalová křivka normálových sil dolní vaznice



Obrázek 8.7 – obalová křivka posouvajících sil dolní vaznice

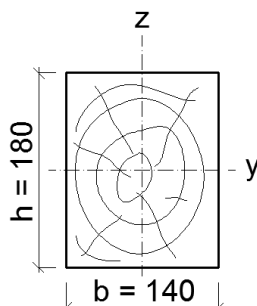


Obrázek 8.8 – obalová křivka ohybových momentů dolní vaznice

Posouzení mezního stavu únosnosti – dolní vaznice

průřez: $h = 180 \text{ mm}$

$b = 140 \text{ mm}$



průřezové charakteristiky

plocha: $A = h \cdot b = 0,18 \cdot 0,14 = 0,025 \text{ m}^2$

průřezový modul: $W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,14 \cdot 0,18^2 = 7,56 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

moment setrvačnosti k ose y: $I_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{6} \cdot 0,14 \cdot 0,18^3 = 6,80 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$

poloměr setrvačnosti k ose y: $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{6,8 \cdot 10^{-5}}{0,025}} = 0,052 \text{ m}$

moment setrvačnosti k ose z: $I_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{6} \cdot 0,18 \cdot 0,14^3 = 4,12 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$

poloměr setrvačnosti k ose z: $i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{4,12 \cdot 10^{-5}}{0,025}} = 0,040 \text{ m}$

posouzení maximálního záporného momentu a maximálního tahu

Maximální záporný ohybový moment vznikne v místě maximálního tahu. Prvek je posouzen na kombinaci ohybového momentu a tahu.

rozhodující kombinace:

CO020	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
mimořádný sníh	1,50

ohybový moment: $M = -8,48 \text{ kNm}$

normálová síla: $N = 22,37 \text{ kN}$

napětí od ohybu: $\sigma_{m,y,d} = \frac{|M|}{W_y} = \frac{|-8,48 \cdot 10^{-3}|}{7,56 \cdot 10^{-4}} = 11,217 \text{ MPa}$

napětí od normálové síly: $\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A} = \frac{22,37 \cdot 10^{-3}}{0,025} = 0,888 \text{ MPa}$

podmínka spolehlivosti:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{11,217}{16,615} + \frac{0,888}{9,692} \leq 1$$

$$0,767 \leq 1$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení maximálního kladného momentu

Prvek je posouzen na kombinaci ohybu a tlaku.

rozhodující kombinace:

CO020	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
mimořádný sníh	1,50

ohybový moment:

$$M = 8,37 \text{ kNm}$$

normálová síla:

$$N = -6,98 \text{ kN}$$

délka nosníku:

$$l = 5,15 \text{ m}$$

vzpěrná délka:

$$L_{cr,z} = 5,15 \text{ m}$$

štíhlostní poměr:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5,15}{0,04} = 127,429$$

poměrný štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{127,429}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 2,161$$

součinitel přímosti:

$$\beta_c = 0,2$$

součinitel vzpěrnosti:

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2]$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (2,161 - 0,3) + 2,161^2] = 3,021$$

součinitel vzpěrnosti:

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{3,021 + \sqrt{3,021^2 - 2,161^2}} = 0,195$$

účinná délka:

$$l_{ef} = \frac{l_{ef}}{l} \cdot l = 0,8 \cdot 5,15 = 4,12 \text{ m}$$

kritické napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,14^2}{0,18 \cdot 4,12} \cdot 7400$$

$$\sigma_{m,crit} = 152,550 \text{ MPa}$$

poměrná štíhlost v ohybu:

$$\gamma_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{152,55}} = 0,397$$

součinitel pro příčnou a torzní stabilitu pro $\gamma_{rel,m} \leq 0,75$:

$$k_{crit} = 1$$

napětí od normálové síly: $\sigma_{c,0,d} = \frac{|N|}{A} = \frac{|-6,98 \cdot 10^{-3}|}{0,025} = 0,277 \text{ MPa}$

napětí od ohybu: $\sigma_{m,y,d} = \frac{|M|}{W_y} = \frac{|8,37 \cdot 10^{-3}|}{7,56 \cdot 10^{-4}} = 11,071 \text{ MPa}$

podmínka spolehlivosti: $\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$

$$\left(\frac{11,071}{16,616} \right)^2 + \frac{0,277}{0,195 \cdot 14,538} \leq 1$$

$$0,542 \leq 1$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení maximální tlakové síly

Prvek je posouzen na kombinaci tlaku a ohybu. U výpočtu bylo uvažováno i se vzpěrem.

rozhodující kombinace:

CO014	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,00
stálé	1,00
vítr	1,50

ohybový moment: $M = 7,07 \text{ kNm}$

normálová síla: $N = -18,59 \text{ kN}$

vzpěrná délka: $L_{cr,y} = 5,15 \text{ m}$

štíhlostní poměr: $\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{5,15}{0,052} = 99,112$

poměrný štíhlostní poměr: $\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{99,112}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,681$

součinitel přímosti: $\beta_c = 0,2$

součinitel vzpěrnosti: $k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,681 - 0,3) + 1,681^2] = 2,05$$

součinitel vzpěrnosti: $k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{2,05 + \sqrt{2,05^2 - 1,681^2}} = 0,31$

napětí od normálové síly: $\sigma_{c,0,d} = \frac{|N|}{A} = \frac{|-18,59 \cdot 10^{-3}|}{0,025} = 0,738 \text{ MPa}$

napětí od ohybu: $\sigma_{m,y,d} = \frac{|M|}{W_y} = \frac{|7,07 \cdot 10^{-3}|}{7,56 \cdot 10^{-4}} = 9,352 \text{ MPa}$

podmínka spolehlivosti: $\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$

$$\frac{9,352}{16,615} + \frac{0,738}{0,31 \cdot 14,538} \leq 1$$

$$0,726 \leq 1$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení maximální posouvající síly

rozhodující kombinace:

CO020	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
mimořádný sníh	1,50

posouvající síla: $V = -16,64 \text{ kN}$

součinitel zohledňující vliv trhlin: $k_{cr} = 0,67$

účinná šířka prvku: $b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,14 = 0,0938 \text{ m}$

účinná plocha prvku: $A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,0938 \cdot 0,18 = 0,017 \text{ m}^2$

smykové napětí: $\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{|V|}{A_{ef}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{|-16,64 \cdot 10^{-3}|}{0,017} = 1,478 \text{ MPa}$

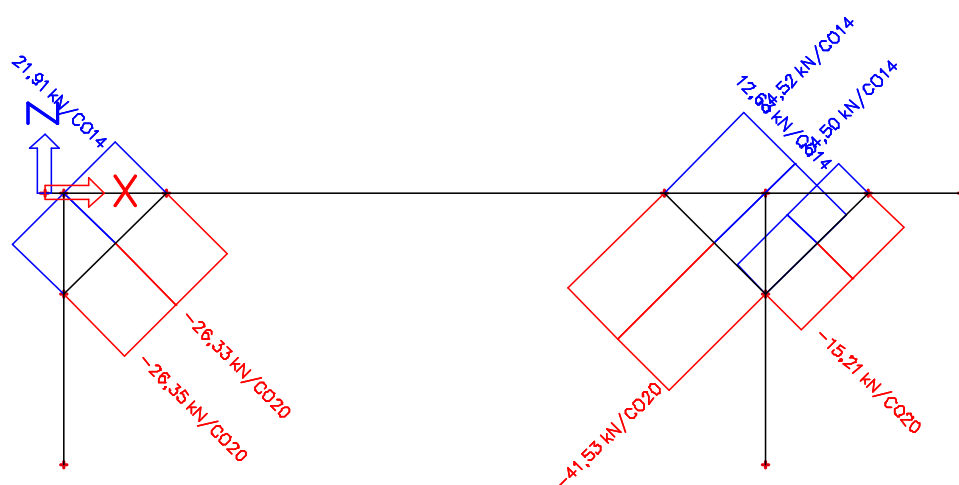
podmínka spolehlivosti: $\tau_{v,d} \leq f_{v,d}$

$$1,478 \leq 2,769$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení otláčení pásků do vaznice

Otláčení bylo posuzováno na maximální normálovou sílu v páscích. Obálka maximálních normálových sil v páscích je na obrázku 8.9.



Obrázek 8.9 – maximální normálové síly v páscích

průřez pásu: $h = 110 \text{ mm}$

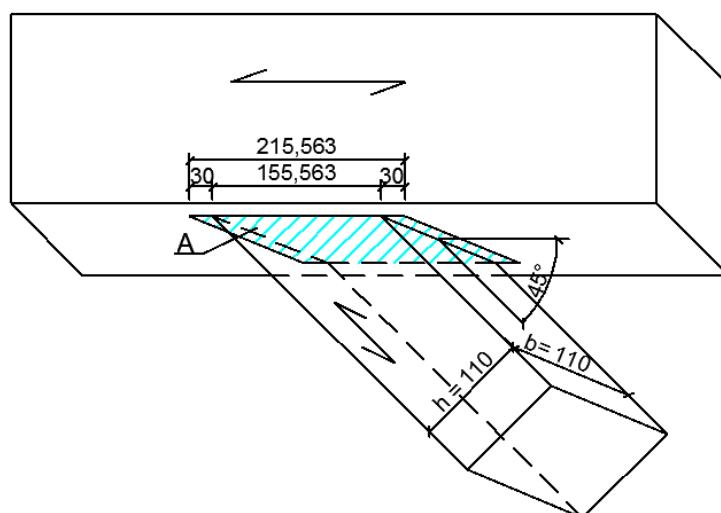
$b = 110 \text{ mm}$

úhel připojení pásu: $\alpha = 45^\circ$

rozhodující kombinace:

CO020	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
mimořádný sníh	1,50

normálová síla: $N = -41,53 \text{ kN}$



Obrázek 8.10 – schéma napojení pásu k vaznici

otlačovaná plocha: $A = 0,216 \cdot 0,11 = 0,024 \text{ m}^2$

napětí v tlaku šikmo k vláknům: $\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{|N|}{A} = \frac{|-41,53 \cdot 10^{-3}|}{0,024} = 1,751 \text{ MPa}$

součinitel zatížení: $k_{c,90} = 1,5$

podmínka spolehlivosti: $\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$

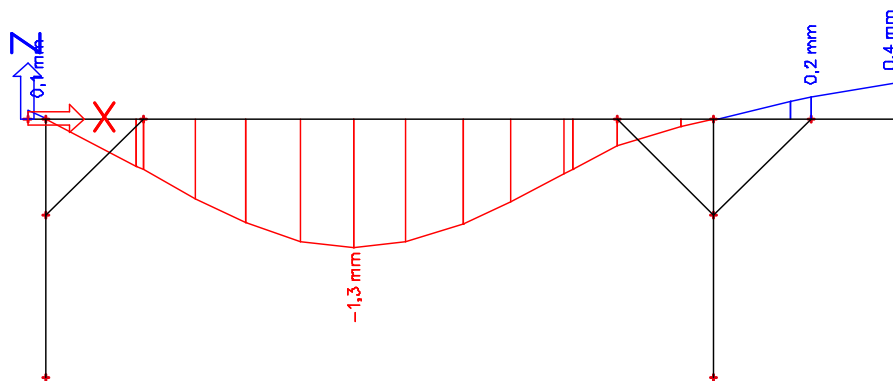
$$1,751 \leq \frac{14,538}{\frac{14,538}{1,5 \cdot 1,731} \sin^2 45 + \cos^2 45}$$

$$1,751 \leq 2,937$$

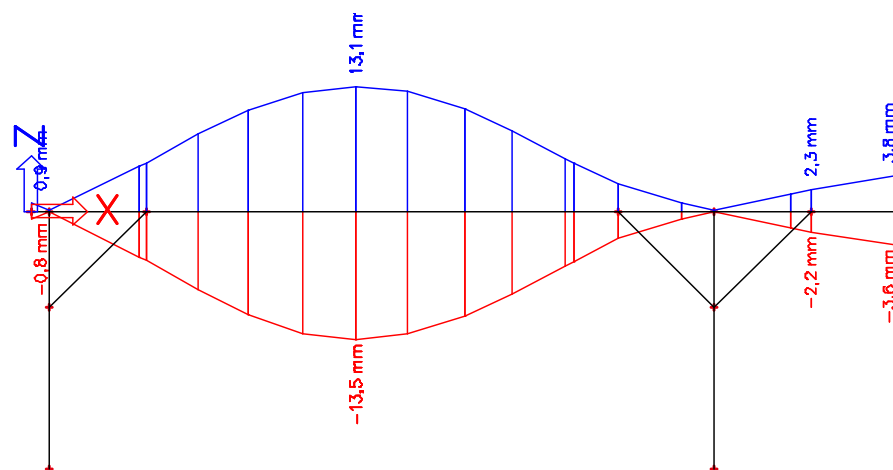
PRŮŘEZ VYHOVUJE

Posouzení mezního stavu použitelnosti

Průhybové křivky od stálého a nahodilého zatížení byly vypočteny v programu Scia Engineer a jsou na obrázcích 8.11 a 8.12.



Obrázek 8.11 – průhyb od stálého zatížení na dolní vaznici



Obrázek 8.12 – průhyb od nahodilého zatížení na dolní vaznici

posouzení pole

délka pole: $l = 5150 \text{ mm}$

součinitel dotvarování: $k_{def} = 2$

součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení $\psi_2 = 0$

okamžitý průhyb

od stálého zatížení: $w_{inst,G} = -1,3 \text{ mm}$

od okamžitého zatížení: $w_{inst,Q} = -13,5 \text{ mm}$

výsledný okamžitý průhyb: $w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = -1,3 + (-13,5)$

$$w_{inst} = -14,8 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti: $|w_{inst}| \leq \frac{l}{300}$

$$|-14,8| \leq \frac{5150}{300}$$

$$14,800 \leq 17,167$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

konečný průhyb

od stálého zatížení:

$$w_{net,fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = -1,3 \cdot (1 + 2)$$

$$w_{net,fin,G} = -3,9 \text{ mm}$$

od nahodilého zatížení:

$$w_{net,fin,Q} = w_{inst,Q} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def})$$

$$w_{net,fin,Q} = -13,5 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = -13,5 \text{ mm}$$

výsledný konečný průhyb:

$$w_{net,fin} = w_{net,fin,G} + w_{net,fin,Q}$$

$$w_{net,fin} = -3,9 + (-13,5) = -17,4 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti:

$$|w_{net,fin}| \leq \frac{l}{250}$$

$$|-17,4| \leq \frac{5150}{250}$$

$$17,400 \leq 20,600$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení převislého konce

délka pole:

$$l = 1430 \text{ mm}$$

okamžitý průhyb

od stálého zatížení:

$$w_{inst,G} = 0,4 \text{ mm}$$

od okamžitého zatížení:

$$w_{inst,Q} = 3,8 \text{ mm}$$

výsledný okamžitý průhyb:

$$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = 0,4 + 3,8 = 4,2 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti:

$$|w_{inst}| \leq \frac{l}{150}$$

$$|4,2| \leq \frac{1430}{150}$$

$$4,200 \leq 9,533$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

konečný průhyb

od stálého zatížení:

$$w_{net,fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 0,4 \cdot (1 + 2)$$

$$w_{net,fin,G} = 1,2 \text{ mm}$$

od nahodilého zatížení:

$$w_{net,fin,Q} = w_{inst,Q} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def})$$

$$w_{net,fin,Q} = 3,8 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 3,8 \text{ mm}$$

výsledný konečný průhyb:

$$w_{net,fin} = w_{net,fin,G} + w_{net,fin,Q}$$

$$w_{net,fin} = 1,2 + 3,8 = 5 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti:

$$|w_{net,fin}| \leq \frac{l}{125}$$

$$|5| \leq \frac{1430}{125}$$

$$5,000 \leq 11,440$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

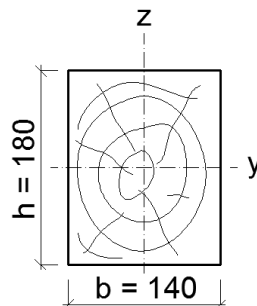
Posouzení mezního stavu únosnosti – sloupky

Na obrázcích 8.13 a 8.14 jsou obalové křivky vnitřních sil pro posudek sloupků.

průřez:

$$h = 180 \text{ mm}$$

$$b = 140 \text{ mm}$$



průřezové charakteristiky

plocha:

$$A = h \cdot b = 0,18 \cdot 0,14 = 0,025 \text{ m}^2$$

průřezový modul:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,14 \cdot 0,18^2 = 7,56 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

moment setrvačnosti k ose y:

$$I_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{6} \cdot 0,14 \cdot 0,18^3 = 6,80 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

poloměr setrvačnosti k ose y:

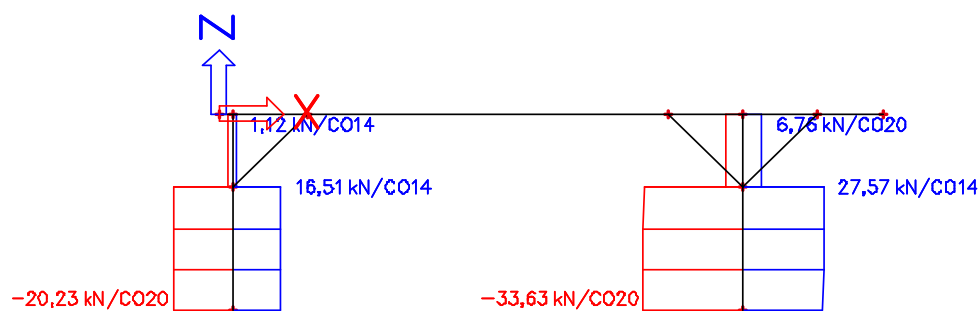
$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{6,8 \cdot 10^{-5}}{0,025}} = 0,052 \text{ m}$$

moment setrvačnosti k ose z:

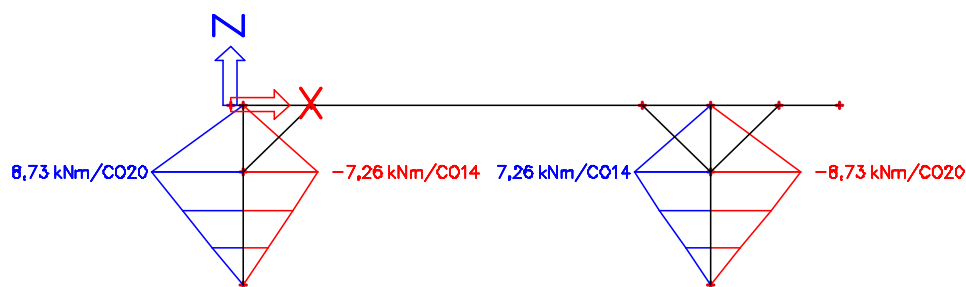
$$I_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{6} \cdot 0,18 \cdot 0,14^3 = 4,12 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

poloměr setrvačnosti k ose z:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{4,12 \cdot 10^{-5}}{0,025}} = 0,040 \text{ m}$$



Obrázek 8.13 – obalová křivka normálových sil na sloupcích



Obrázek 8.14 – obalová křivka ohybových momentů na sloupcích

posouzení maximálního ohybového momentu

Prvek je posouzen na kombinaci tlaku a ohybu v ose větší tuhosti. U výpočtu bylo uvažováno i se vzpěrem.

rozhodující kombinace:

CO020	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
mimořádný sníh	1,50

ohybový moment:

$$M = -8,73 \text{ kNm}$$

normálová síla:

$$N = -33,48 \text{ kN}$$

vzpěrná délka:

$$L_{cr,y} = 2 \text{ m}$$

štíhlostní poměr:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2}{0,052} = 38,49$$

poměrný štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{38,49}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 0,653$$

součinitel přímosti:

$$\beta_c = 0,2$$

součinitel vzpěrnosti:

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (0,653 - 0,3) + 0,653^2] = 0,748$$

součinitel vzpěrnosti: $k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,748 + \sqrt{0,748^2 - 0,653^2}} = 0,898$

napětí od normálové síly: $\sigma_{c,0,d} = \frac{|N|}{A} = \frac{|-33,48 \cdot 10^{-3}|}{0,025} = 1,342 \text{ MPa}$

napětí od ohybu: $\sigma_{m,y,d} = \frac{|M|}{W_y} = \frac{|-8,73 \cdot 10^{-3}|}{7,56 \cdot 10^{-4}} = 11,548 \text{ MPa}$

podmínka spolehlivosti: $\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$

$$\frac{11,548}{16,615} + \frac{1,342}{0,31 \cdot 14,538} \leq 1$$

$$0,798 \leq 1$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení maximálního tlaku

Prvek je posouzen na tlak v ose menší tuhosti.

rozhodující kombinace:

CO020	
zatěžovací	bezpečnostní
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
mimořádný sníh	1,50

normálová síla: $N = -33,63 \text{ kN}$

vzpěrná délka: $L_{cr,z} = 2 \text{ m}$

štíhlostní poměr: $\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2}{0,04} = 49,487$

poměrný štíhlostní poměr: $\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{49,487}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 0,839$

součinitel přímosti: $\beta_c = 0,2$

součinitel vzpěrnosti: $k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2]$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (0,839 - 0,3) + 0,839^2] = 0,906$$

součinitel vzpěrnosti: $k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0,906 + \sqrt{0,906^2 - 0,839^2}} = 0,802$

napětí od normálové síly: $\sigma_{c,0,d} = \frac{|N|}{A} = \frac{|-33,63 \cdot 10^{-3}|}{0,025} = 1,335 \text{ MPa}$

podmínka spolehlivosti: $\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}$

$$1,335 \leq 0,802 \cdot 14,538$$

$$1,335 \leq 11,654$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

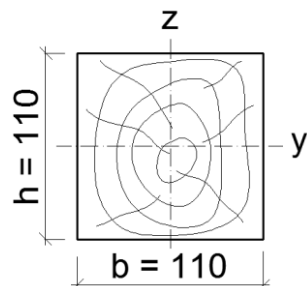
Posouzení mezního stavu únosnosti – pásy

Na obrázku 8.15 jsou normálové síly pro posudek pásu.

průřez:

$$h = 110 \text{ mm}$$

$$b = 110 \text{ mm}$$



průřezové charakteristiky

plocha:

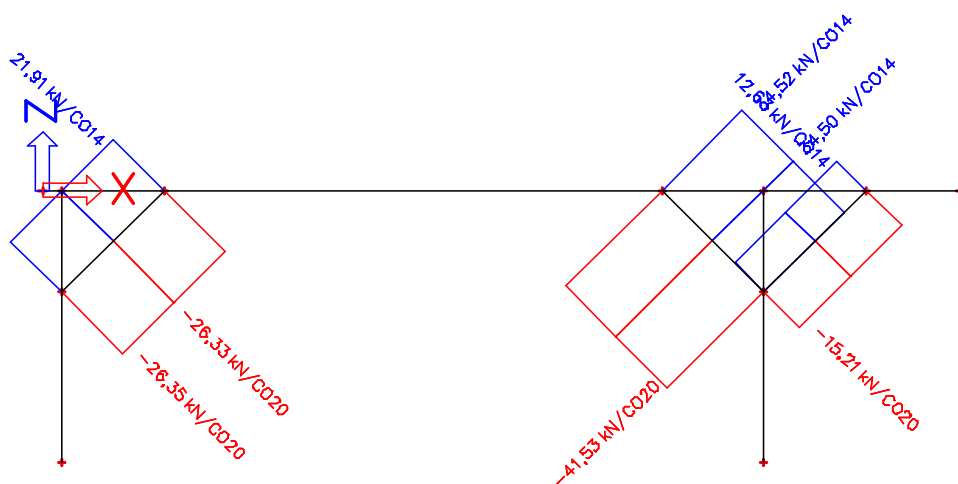
$$A = h \cdot b = 0,11 \cdot 0,11 = 0,012 \text{ m}^2$$

moment setrvačnosti k ose y:

$$I_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{6} \cdot 0,11 \cdot 0,11^3 = 1,22 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

poloměr setrvačnosti k ose y:

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,22 \cdot 10^{-5}}{0,012}} = 0,032 \text{ m}$$



Obrázek 8.15 – normálové síly na páscích

posouzení maximálního tlaku

Prvek je posouzen na osový tlak.

rozhodující kombinace:

CO020	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
mimořádný sníh	1,50

normálová síla:	$N = -41,53 \text{ kN}$
vzpěrná délka:	$L_{cr,y} = 1,06 \text{ m}$
štíhlostní poměr:	$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1,06}{0,032} = 33,381$
poměrný štíhlostní poměr:	$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{33,381}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 0,566$
součinitel přímosti:	$\beta_c = 0,2$
součinitel vzpěrnosti:	$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$ $k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (0,566 - 0,3) + 0,566^2] = 0,687$
součinitel vzpěrnosti:	$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,687 + \sqrt{0,687^2 - 0,566^2}} = 0,93$
napětí od normálové síly:	$\sigma_{c,0,d} = \frac{ N }{A} = \frac{ -41,53 \cdot 10^{-3} }{0,012} = 3,432 \text{ MPa}$
podmínka spolehlivosti:	$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}$ $3,432 \leq 0,93 \cdot 14,538$ $3,432 \leq 13,514$ PRŮŘEZ VYHOVUJE

8.3 Horní vaznice a sloupky přístřešku

K výpočtu vnitřních sil byl použit program Scia Engineer, který vytvořil z jednotlivých zatěžovacích stavů 42 kombinací. Vaznice je zatížena reakcemi z krokví. Statické schéma je stejné jako statické schéma dolní vaznice, akorát sloupky jsou o 0,7 m delší a je na obrázku 7.3. Na krajích jsou síly o polovinu menší. Obalové křivky vnitřních sil jsou na obrázcích 8.16 až 8.18.

Zatěžovací stavy na vaznici

zatížení stálé	zatížení sních	zatížení užité
$R_{k,1} = 0,360 \text{ kN}$	$R_{k,1} = 1,650 \text{ kN}$	$R_{k,1} = 1,470 \text{ kN}$
$R_{k,2} = 0,180 \text{ kN}$	$R_{k,2} = 0,825 \text{ kN}$	$R_{k,2} = 0,735 \text{ kN}$

zatížení větrem

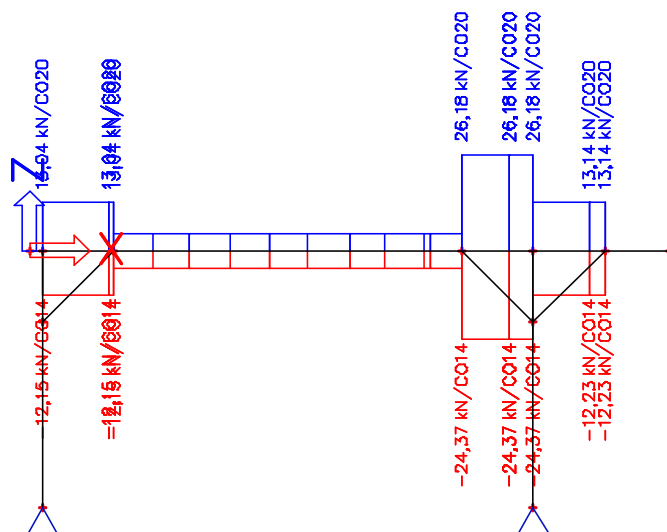
$$R_{k,1} = -4,910 \text{ kN}$$

$$R_{k,2} = -2,455 \text{ kN}$$

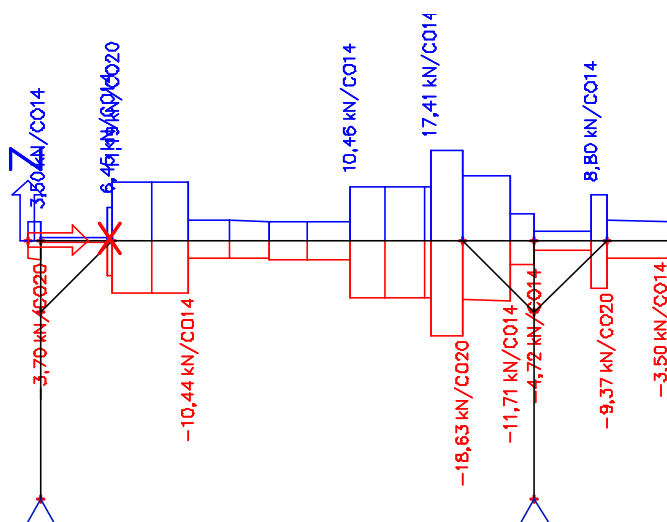
zatížení mimořádným sněhem

$$R_{k,1} = 4,590 \text{ kN}$$

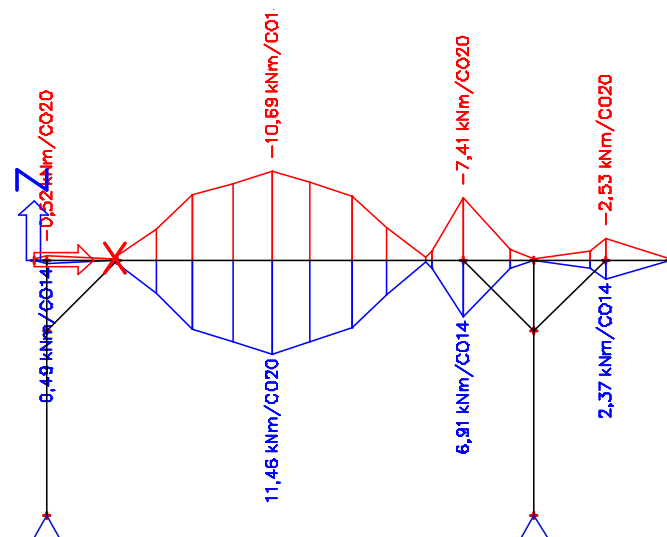
$$R_{k,2} = 2,295 \text{ kN}$$



Obrázek 8.16 – obalové křivky normálních sil horní vaznice



Obrázek 8.17 – obalové křivky posouvajících sil horní vaznice

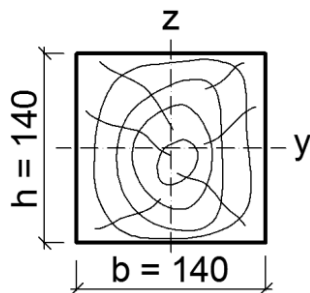


Obrázek 8.18 – obalové křivky ohybových momentů horní vaznice

Posouzení mezního stavu únosnosti – horní vaznice

průřez: $h = 140 \text{ mm}$

$b = 140 \text{ mm}$



průřezové charakteristiky

plocha: $A = h \cdot b = 0,14 \cdot 0,14 = 0,020 \text{ m}^2$

průřezový modul: $W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,14 \cdot 0,14^2 = 4,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

moment setrvačnosti k ose y: $I_y = I_z = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{6} \cdot 0,14 \cdot 0,14^3 = 3,20 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$

poloměr setrvačnosti k ose y: $i_y = i_z = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{3,2 \cdot 10^{-5}}{0,02}} = 0,040 \text{ m}$

posouzení maximálního záporného momentu

Prvek je posouzen na kombinaci ohybového momentu a tahu.

rozhodující kombinace:

CO014	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,00
stálé	1,00
vítr	1,50

ohybový moment: $M = -10,69 \text{ kNm}$

normálová síla: $N = 4,67 \text{ kN}$

napětí od ohybu: $\sigma_{m,y,d} = \frac{|M|}{W_y} = \frac{|-10,69 \cdot 10^{-3}|}{4,57 \cdot 10^{-4}} = 23,375 \text{ MPa}$

napětí od normálové síly: $\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A} = \frac{4,67 \cdot 10^{-3}}{0,02} = 0,238 \text{ MPa}$

podmínka spolehlivosti: $\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$

$$\frac{23,375}{16,615} + \frac{0,238}{9,692} \leq 1$$

$$1,431 \leq 1$$

PRŮŘEZ NEVYHOVUJE

posouzení maximálního kladného momentu

Prvek je posouzen na kombinaci ohybu a tlaku.

rozhodující kombinace:

CO020	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
mimořádný sníh	1,50

ohybový moment:

$$M = 11,46 \text{ kNm}$$

normálová síla:

$$N = -5,01 \text{ kN}$$

délka nosníku:

$$l = 5,15 \text{ m}$$

vzpěrná délka:

$$L_{cr,z} = 5,15 \text{ m}$$

štíhlostní poměr:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5,15}{0,04} = 127,429$$

poměrný štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{127,429}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 2,161$$

součinitel přímosti:

$$\beta_c = 0,2$$

součinitel vzpěrnosti:

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2]$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (2,161 - 0,3) + 2,161^2] = 3,021$$

součinitel vzpěrnosti:

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{3,021 + \sqrt{3,021^2 - 2,161^2}} = 0,195$$

účinná délka:

$$l_{ef} = \frac{l_{ef}}{l} \cdot l = 0,8 \cdot 5,15 = 4,12 \text{ m}$$

kritické napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,14^2}{0,14 \cdot 4,12} \cdot 7400$$

$$\sigma_{m,crit} = 196,136 \text{ MPa}$$

poměrná štíhlost v ohybu:

$$\gamma_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{196,136}} = 0,35$$

součinitel pro příčnou a torzní stabilitu pro $\gamma_{rel,m} \leq 0,75$:

$$k_{crit} = 1$$

napětí od normálové síly:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N|}{A} = \frac{|-5,01 \cdot 10^{-3}|}{0,02} = 0,256 \text{ MPa}$$

napětí od ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{|M|}{W_y} = \frac{|11,46 \cdot 10^{-3}|}{4,57 \cdot 10^{-4}} = 25,058 \text{ MPa}$$

podmínka spolehlivosti:

$$\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{25,058}{16,616} \right)^2 + \frac{0,256}{0,195 \cdot 14,538} \leq 1$$

$$2,365 \leq 1$$

PRŮŘEZ NEVYHOVUJE

posouzení maximální tlakové síly

Prvek je posouzen na kombinaci tlaku a ohybu. U výpočtu bylo uvažováno i se vzpěrem.

rozhodující kombinace:

CO014	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,00
stálé	1,00
vítr	1,50

ohybový moment:

$$M = 6,91 \text{ kNm}$$

normálová síla:

$$N = -24,37 \text{ kN}$$

vzpěrná délka:

$$L_{cr,y} = 5,15 \text{ m}$$

štíhlostní poměr:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{5,15}{0,04} = 127,429$$

poměrný štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{127,429}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 2,161$$

součinitel přímosti:

$$\beta_c = 0,2$$

součinitel vzpěrnosti:

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (2,161 - 0,3) + 2,161^2] = 3,021$$

součinitel vzpěrnosti:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{3,021 + \sqrt{3,021^2 - 2,161^2}} = 0,195$$

napětí od normálové síly:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N|}{A} = \frac{|-24,37 \cdot 10^{-3}|}{0,02} = 1,243 \text{ MPa}$$

napětí od ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{|M|}{W_y} = \frac{|6,91 \cdot 10^{-3}|}{4,57 \cdot 10^{-4}} = 15,109 \text{ MPa}$$

podmínka spolehlivosti:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{15,109}{16,615} + \frac{1,243}{0,195 \cdot 14,538} \leq 1$$

$$1,348 \leq 1$$

PRŮŘEZ NEVYHOVUJE

posouzení maximální tahové síly

Prvek je posouzen na kombinaci ohybového momentu a tahu.

rozhodující kombinace:

CO020	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
mimořádný sníh	1,50

ohybový moment:

$$M = -7,41 \text{ kNm}$$

normálová síla:

$$N = 26,18 \text{ kN}$$

napětí od ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{|M|}{W_y} = \frac{|-7,41 \cdot 10^{-3}|}{4,57 \cdot 10^{-4}} = 16,203 \text{ MPa}$$

napětí od normálové síly:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A} = \frac{26,18 \cdot 10^{-3}}{0,02} = 1,336 \text{ MPa}$$

podmínka spolehlivosti:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{16,203}{16,615} + \frac{1,336}{9,692} \leq 1$$

$$1,113 \leq 1$$

PRŮŘEZ NEVYHOVUJE

posouzení maximální posouvající síly

rozhodující kombinace:

CO020	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
mimořádný sníh	1,50

posouvající síla:

$$V = -18,63 \text{ kN}$$

součinitel zohledňující vliv trhlin:

$$k_{cr} = 0,67$$

účinná šířka prvku:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,14 = 0,0938 \text{ m}$$

účinná plocha prvku:

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,0938 \cdot 0,14 = 0,013 \text{ m}^2$$

smykové napětí:

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{|V|}{A_{ef}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{|-18,63 \cdot 10^{-3}|}{0,013} = 2,128 \text{ MPa}$$

podmínka spolehlivosti:

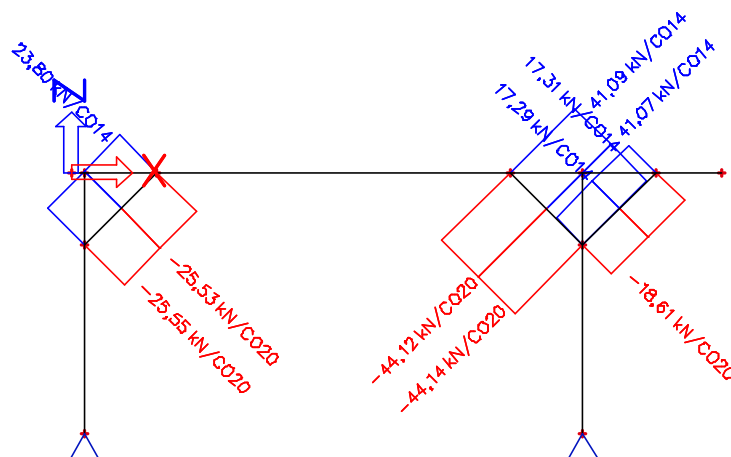
$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d}$$

$$2,128 \leq 2,769$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení otlačení pásků do vaznice

Otlačení bylo posuzováno na maximální normálovou sílu v páscích. Obálka maximálních normálových sil v páscích je na obrázku 8.19.



Obrázek 8.19 – normálové síly v páscích na horní vaznici

průřez pásku: $h = 110 \text{ mm}$

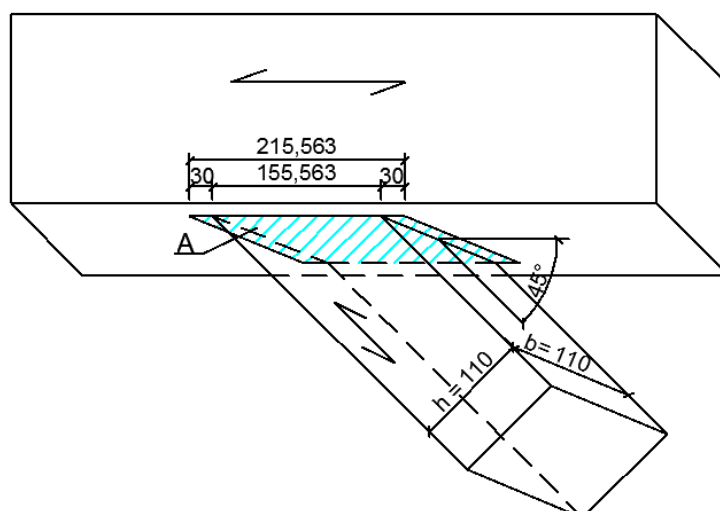
$b = 110 \text{ mm}$

úhel připojení pásku: $\alpha = 45^\circ$

rozhodující kombinace:

CO020	
zatěžovací	bezpečnostní
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
mimořádný sníh	1,50

normálová síla: $N = -44,12 \text{ kN}$



Obrázek 8.20 – schéma napojení pásku k vaznici

otlačovaná plocha:

$$A = 0,216 \cdot 0,11 = 0,024 \text{ m}^2$$

napětí v tlaku šikmo k vláknům:

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{|N|}{A} = \frac{|-44,12 \cdot 10^{-3}|}{0,024} = 1,861 \text{ MPa}$$

součinitel zatížení:

$$k_{c,90} = 1,5$$

podmínka spolehlivosti:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

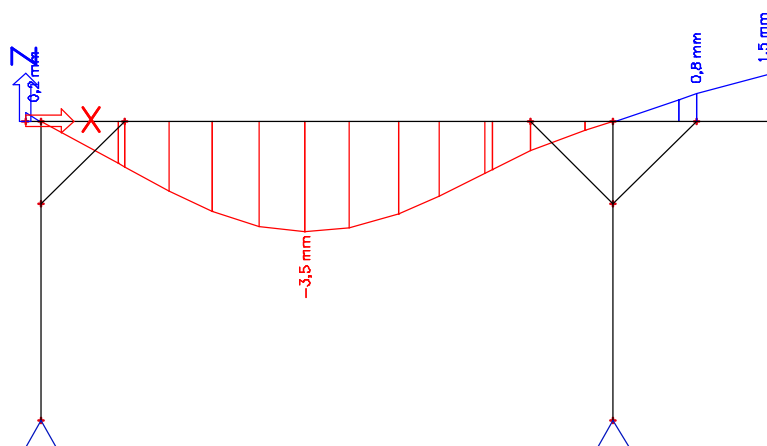
$$1,861 \leq \frac{14,538}{\frac{14,538}{1,5 \cdot 1,731} \sin^2 45 + \cos^2 45}$$

$$1,861 \leq 2,937$$

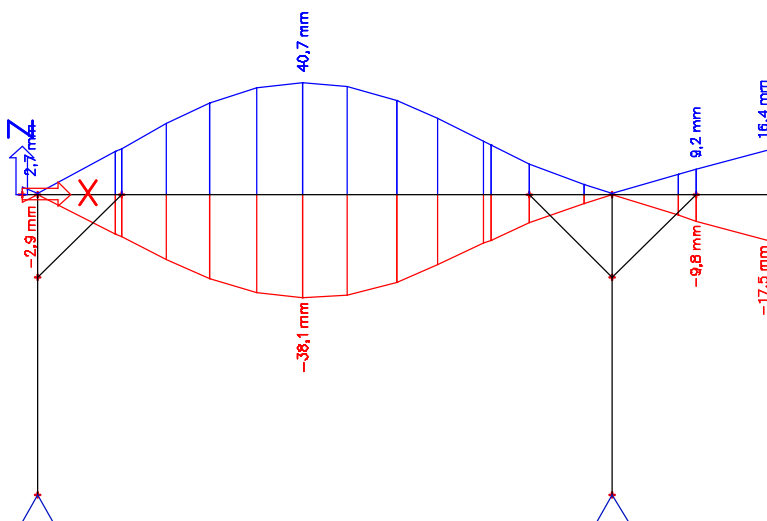
PRŮŘEZ VYHOVUJE

Posouzení mezního stavu použitelnosti

Průhybové křivky od stálého a nahodilého zatížení byly vypočteny v programu Scia Engineer a jsou na obrázcích 8.21 a 8.22.



Obrázek 8.21 – průhyb od stálého zatížení horní vaznice



Obrázek 8.22 průhyb od nahodilého zatížení horní vaznice

posouzení pole

délka pole: $l = 5150 \text{ mm}$

součinitel dotvarování: $k_{def} = 2$

součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení $\psi_2 = 0$

okamžitý průhyb

od stálého zatížení: $w_{inst,G} = -3,5 \text{ mm}$

od okamžitého zatížení: $w_{inst,Q} = -38,1 \text{ mm}$

výsledný okamžitý průhyb: $w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = -3,5 + (-38,1)$

$$w_{inst} = -41,6 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti: $|w_{inst}| \leq \frac{l}{300}$

$$|-41,6| \leq \frac{5150}{300}$$

$$41,600 \leq 17,167$$

PRŮŘEZ NEVYHOVUJE

posouzení převislého konce

délka pole: $l = 1430 \text{ mm}$

okamžitý průhyb

od stálého zatížení: $w_{inst,G} = 1,5 \text{ mm}$

od okamžitého zatížení: $w_{inst,Q} = 16,4 \text{ mm}$

výsledný okamžitý průhyb: $w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = 1,5 + 16,4 = 17,9 \text{ mm}$

podmínka spolehlivosti: $|w_{inst}| \leq \frac{l}{150}$

$$|17,9| \leq \frac{1430}{150}$$

$$17,900 \leq 9,533$$

PRŮŘEZ NEVYHOVUJE

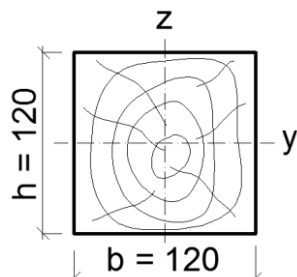
Posouzení mezního stavu únosnosti – sloupky

Obalové křivky vnitřních sil pro posudek jsou na obrázcích 8.23 a 8.24.

průřez:

$$h = 120 \text{ mm}$$

$$b = 120 \text{ mm}$$



průřezové charakteristiky

plocha:

$$A = h \cdot b = 0,12 \cdot 0,12 = 0,014 \text{ m}^2$$

průřezový modul:

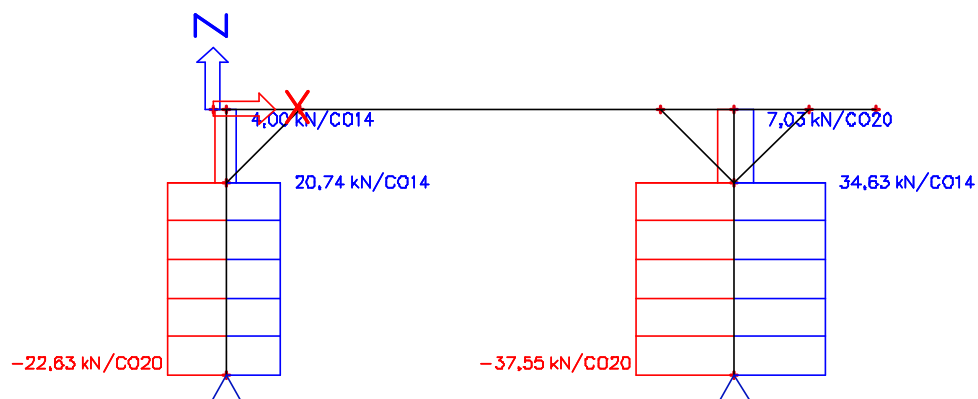
$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,12 \cdot 0,12^2 = 2,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

moment setrvačnosti k ose y:

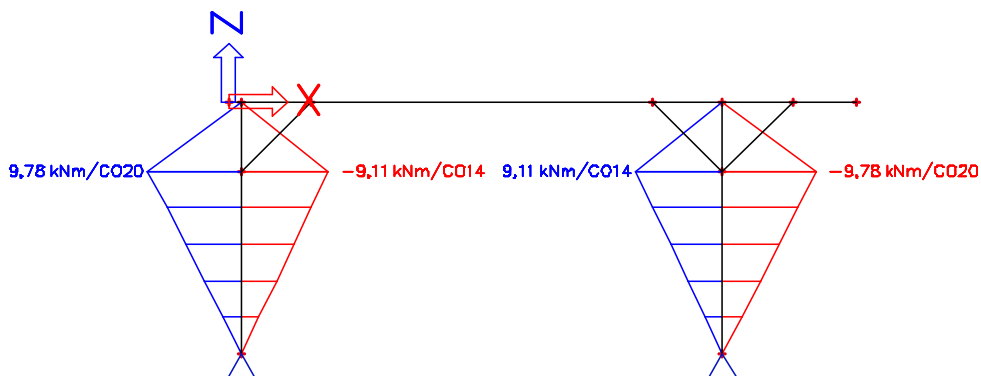
$$I_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{6} \cdot 0,12 \cdot 0,12^3 = 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

poloměr setrvačnosti k ose y:

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,73 \cdot 10^{-5}}{0,014}} = 0,035 \text{ m}$$



Obrázek 8.23 – normálové síly ve sloupcích horní vaznice



Obrázek 8.24 – ohybové momenty ve sloupcích horní vaznice

posouzení maximálního ohybového momentu a tlaku

Prvek je posouzen na kombinaci tlaku a ohybu. U výpočtu bylo uvažováno i se vzpěrem.

rozhodující kombinace:

CO020	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
mimořádný sníh	1,50

ohybový moment:

$$M = -9,78 \text{ kNm}$$

normálová síla:

$$N = -37,42 \text{ kN}$$

vzpěrná délka:

$$L_{cr,y} = 2,7 \text{ m}$$

štíhlostní poměr:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2,7}{0,035} = 77,942$$

poměrný štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{77,942}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,322$$

součinitel přímosti:

$$\beta_c = 0,2$$

součinitel vzpěrnosti:

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,322 - 0,3) + 1,322^2] = 1,476$$

součinitel vzpěrnosti:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,476 + \sqrt{1,476^2 - 1,322^2}} = 0,469$$

napětí od normálové síly:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N|}{A} = \frac{|-37,42 \cdot 10^{-3}|}{0,014} = 2,599 \text{ MPa}$$

napětí od ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{|M|}{W_y} = \frac{|-9,78 \cdot 10^{-3}|}{2,88 \cdot 10^{-4}} = 33,958 \text{ MPa}$$

podmínka spolehlivosti:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{33,958}{16,615} + \frac{2,599}{0,469 \cdot 14,538} \leq 1$$

$$2,425 \leq 1$$

PRŮŘEZ NEVYHOVUJE

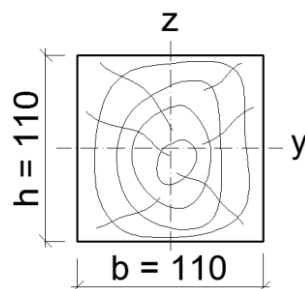
Posouzení mezního stavu únosnosti – pásy

Normálové síly pro posudek jsou na obrázku 8.25.

průřez:

$$h = 110 \text{ mm}$$

$$b = 110 \text{ mm}$$



průřezové charakteristiky

plocha:

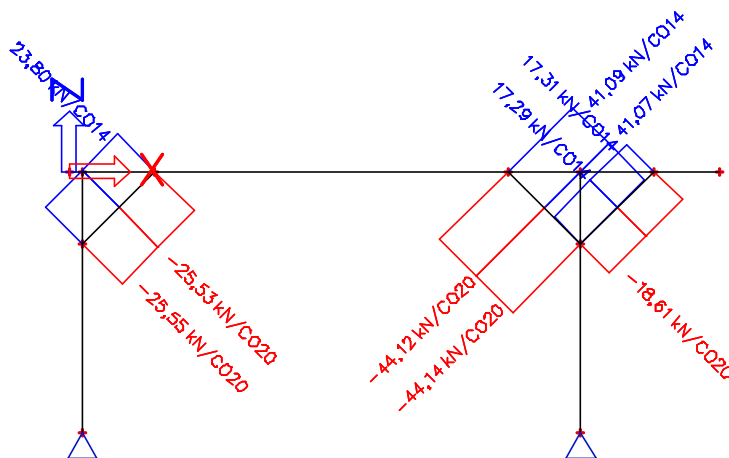
$$A = h \cdot b = 0,11 \cdot 0,11 = 0,012 \text{ m}^2$$

moment setrvačnosti k ose y:

$$I_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{6} \cdot 0,11 \cdot 0,11^3 = 1,22 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

poloměr setrvačnosti k ose y:

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,22 \cdot 10^{-5}}{0,012}} = 0,032 \text{ m}$$



Obrázek 8.25 – normálové síly v páscích horní vaznice

posouzení maximálního tlaku

Prvek je posouzen na osový tlak.

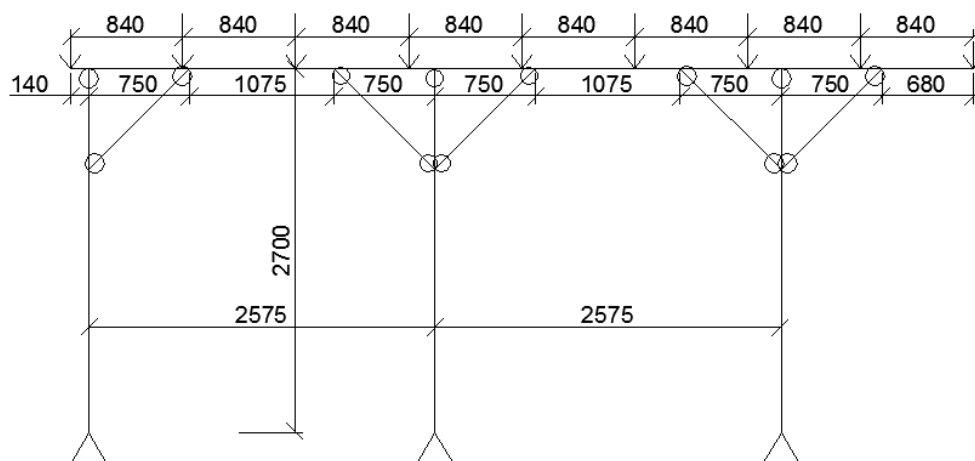
rozhodující kombinace:

CO020	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
mimořádný sníh	1,50

normálová síla:	$N = -44,12 \text{ kN}$
vzpěrná délka:	$L_{cr,y} = 1,06 \text{ m}$
štíhlostní poměr:	$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1,06}{0,032} = 33,381$
poměrný štíhlostní poměr:	$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{33,381}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 0,566$
součinitel přímosti:	$\beta_c = 0,2$
součinitel vzpěrnosti:	$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$ $k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (0,566 - 0,3) + 0,566^2] = 0,687$
součinitel vzpěrnosti:	$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,687 + \sqrt{0,687^2 - 0,566^2}} = 0,93$
napětí od normálové síly:	$\sigma_{c,0,d} = \frac{ N }{A} = \frac{ -44,12 \cdot 10^{-3} }{0,012} = 3,646 \text{ MPa}$
podmínka spolehlivosti:	$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}$ $3,646 \leq 0,93 \cdot 14,538$ $3,646 \leq 13,514$ PRŮŘEZ VYHOVUJE

9. Návrh řešení pro nevyhovující posudky

Horní vaznice nevyhoví na kombinace jednotlivých namáhání a na průhyb, dále nevyhoví sloupek na kombinaci tlaku a ohybu. Jako řešení je navrhnut třetí sloupek profilu 120 x 120 mm s pásky profilu 110 x 110 mm přidány do poloviny rozpětí mezi stávající sloupky. Nové statické schéma je na obrázku 9.1.

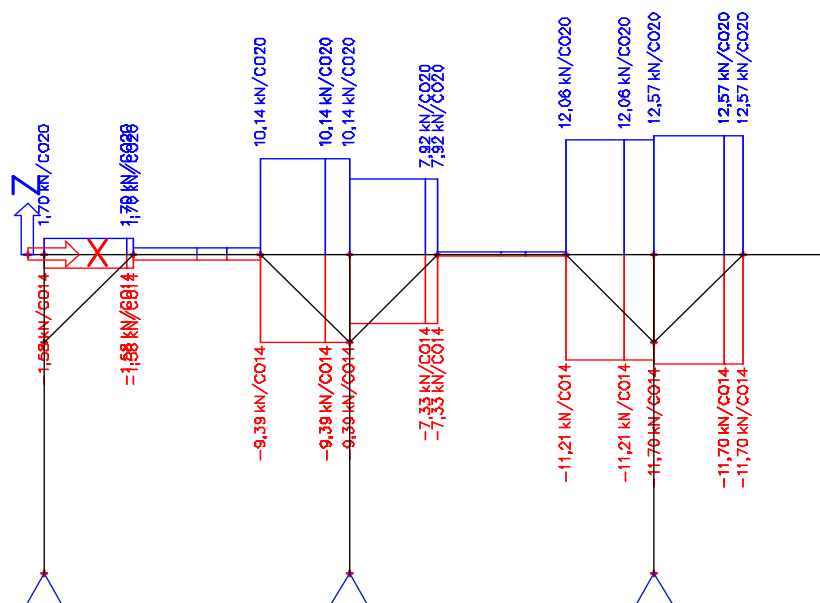


Obrázek 9.1 – nové statické schéma horní vaznice

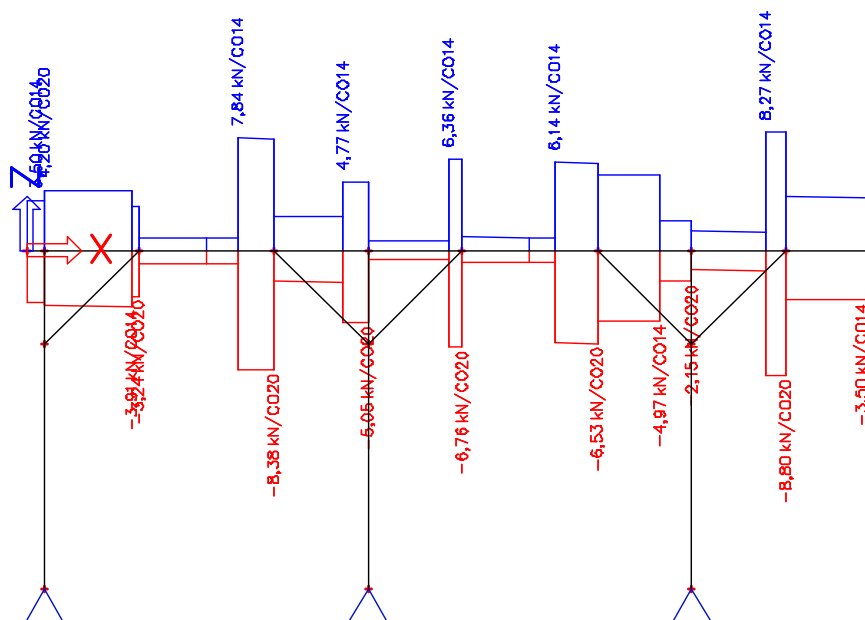
9.1 Nové posouzení vaznice

mezní stav únosnosti

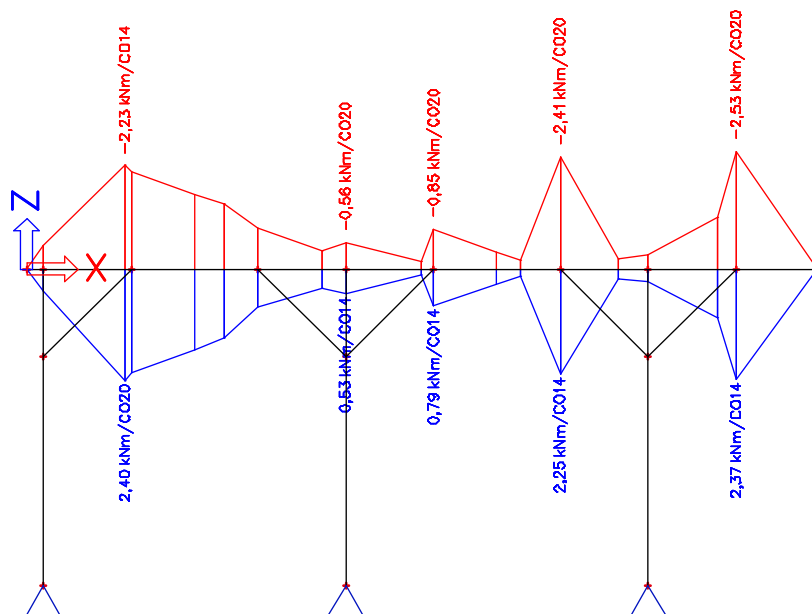
Obalové křivky vnitřních sil jsou na obrázcích 9.2 až 9.4.



Obrázek 9.2 – normálové síly v horní vaznici



Obrázek 9.3 posouvající síly v horní vaznici

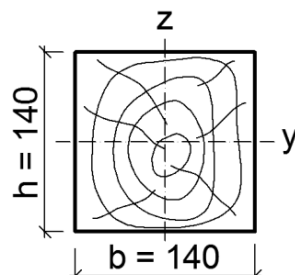


Obrázek 9.4 – ohybové momenty na horní vaznici

průřez:

$$h = 140 \text{ mm}$$

$$b = 140 \text{ mm}$$



průřezové charakteristiky

plocha:

$$A = h \cdot b = 0,14 \cdot 0,14 = 0,020 \text{ m}^2$$

průřezový modul:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,14 \cdot 0,14^2 = 4,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

moment setrvačnosti k ose y:

$$I_y = I_z = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{6} \cdot 0,14 \cdot 0,14^3 = 3,20 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

poloměr setrvačnosti k ose y:

$$i_y = i_z = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{3,2 \cdot 10^{-5}}{0,02}} = 0,040 \text{ m}$$

posouzení maximálního momentu a maximálního tahu

Prvek je posouzen na kombinaci ohybového momentu a tahu.

rozhodující kombinace:

CO020	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
mimořádný sníh	1,50

ohybový moment:

$$M = -2,53 \text{ kNm}$$

normálová síla:

$$N = 12,57 \text{ kN}$$

napětí od ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{|M|}{W_y} = \frac{|-2,53 \cdot 10^{-3}|}{4,57 \cdot 10^{-4}} = 5,532 \text{ MPa}$$

napětí od normálové síly:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A} = \frac{12,57 \cdot 10^{-3}}{0,02} = 0,641 \text{ MPa}$$

podmínka spolehlivosti:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{5,532}{16,615} + \frac{0,641}{9,692} \leq 1$$

$$0,399 \leq 1$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení maximální tlakové síly

Prvek je posouzen na kombinaci tlaku a ohybu. U výpočtu bylo uvažováno i se vzpěrem.

rozhodující kombinace:

CO014	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,00
stálé	1,00
vítr	1,50

ohybový moment:

$$M = 2,37 \text{ kNm}$$

normálová síla:

$$N = -11,70 \text{ kN}$$

vzpěrná délka:

$$L_{cr,y} = 2,575 \text{ m}$$

štíhlostní poměr:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2,575}{0,04} = 63,715$$

poměrný štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{63,715}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,08$$

součinitel přímosti:

$$\beta_c = 0,2$$

součinitel vzpěrnosti:

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,08 - 0,3) + 1,08^2] = 1,162$$

součinitel vzpěrnosti:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,162 + \sqrt{1,162^2 - 1,08^2}} = 0,63$$

napětí od normálové síly:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N|}{A} = \frac{|-11,7 \cdot 10^{-3}|}{0,02} = 0,597 \text{ MPa}$$

napětí od ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{|M|}{W_y} = \frac{|2,37 \cdot 10^{-3}|}{4,57 \cdot 10^{-4}} = 5,182 \text{ MPa}$$

podmínka spolehlivosti:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

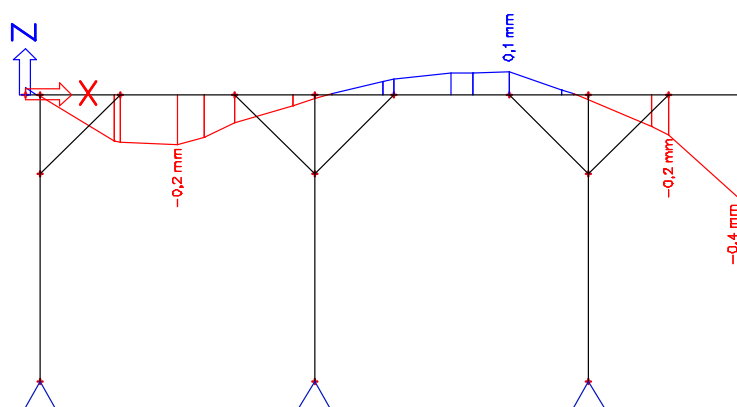
$$\frac{5,182}{16,615} + \frac{0,597}{0,63 \cdot 14,538} \leq 1$$

$$0,377 \leq 1$$

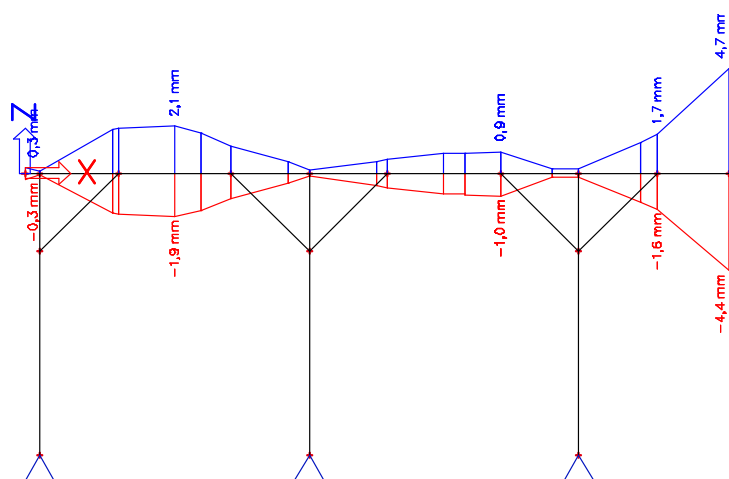
PRŮŘEZ VYHOVUJE

Posouzení mezního stavu použitelnosti

Průhybové křivky od stálého a nahodilého zatížení byly vypočteny v programu Scia Engineer a jsou na obrázcích 9.5 a 9.6.



Obrázek 9.5 – průhyb od stálého zatížení na horní vaznici



Obrázek 9.6 – průhyb od nahodilého zatížení na horní vaznici

posouzení pole

délka pole: $l = 2575 \text{ mm}$

součinitel dotvarování: $k_{def} = 2$

součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení $\psi_2 = 0$

okamžitý průhyb

od stálého zatížení: $w_{inst,G} = -0,2 \text{ mm}$

od okamžitého zatížení: $w_{inst,Q} = -1,9 \text{ mm}$

výsledný okamžitý průhyb: $w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = -0,2 + (-1,9)$

$$w_{inst} = -2,1 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti: $|w_{inst}| \leq \frac{l}{300}$

$$|-2,1| \leq \frac{2575}{300}$$

$$2,100 \leq 8,583$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

konečný průhyb

od stálého zatížení: $w_{net,fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = -0,2 \cdot (1 + 2)$

$$w_{net,fin,G} = -0,6 \text{ mm}$$

od nahodilého zatížení: $w_{net,fin,Q} = w_{inst,Q} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def})$

$$w_{net,fin,Q} = -1,9 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = -1,9 \text{ mm}$$

výsledný konečný průhyb: $w_{net,fin} = w_{net,fin,G} + w_{net,fin,Q}$

$$w_{net,fin} = -0,6 + (-1,9) = -2,5 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti: $|w_{net,fin}| \leq \frac{l}{250}$

$$|-2,5| \leq \frac{2575}{250}$$

$$2,500 \leq 10,300$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení převislého konce

délka pole: $l = 1430 \text{ mm}$

okamžitý průhyb

od stálého zatížení: $w_{inst,G} = -0,4 \text{ mm}$

od okamžitého zatížení: $w_{inst,Q} = -4,4 \text{ mm}$

výsledný okamžitý průhyb: $w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = -0,4 + (-4,4) = -4,8 \text{ mm}$

podmínka spolehlivosti:

$$|w_{inst}| \leq \frac{l}{150}$$

$$|-4,8| \leq \frac{1430}{150}$$

$$4,800 \leq 9,533$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

konečný průhyb

od stálého zatížení:

$$w_{net,fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = -0,4 \cdot (1 + 2)$$

$$w_{net,fin,G} = -1,2 \text{ mm}$$

od nahodilého zatížení:

$$w_{net,fin,Q} = w_{inst,Q} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def})$$

$$w_{net,fin,Q} = -4,4 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = -4,4 \text{ mm}$$

výsledný konečný průhyb:

$$w_{net,fin} = w_{net,fin,G} + w_{net,fin,Q}$$

$$w_{net,fin} = -1,2 + (-4,4) = -5,6 \text{ mm}$$

podmínka spolehlivosti:

$$|w_{net,fin}| \leq \frac{l}{125}$$

$$|-5,6| \leq \frac{1430}{125}$$

$$5,600 \leq 11,440$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

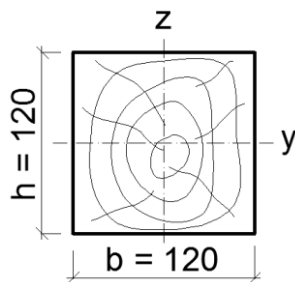
Posouzení mezního stavu únosnosti – sloupky

Na obrázcích 9.7 a 9.8 jsou vnitřní síly pro posudek.

průřez:

$$h = 120 \text{ mm}$$

$$b = 120 \text{ mm}$$



průřezové charakteristiky

plocha:

$$A = h \cdot b = 0,12 \cdot 0,12 = 0,014 \text{ m}^2$$

průřezový modul:

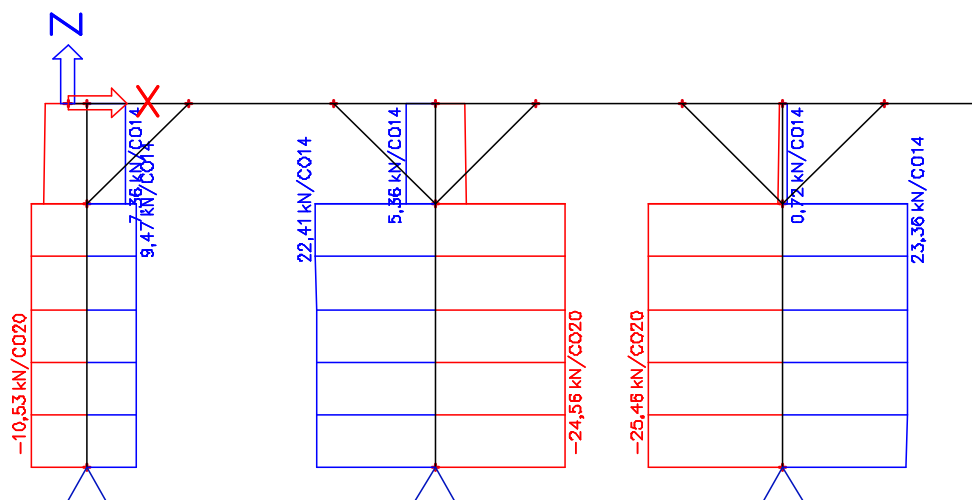
$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,12 \cdot 0,12^2 = 2,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

moment setrvačnosti k ose y:

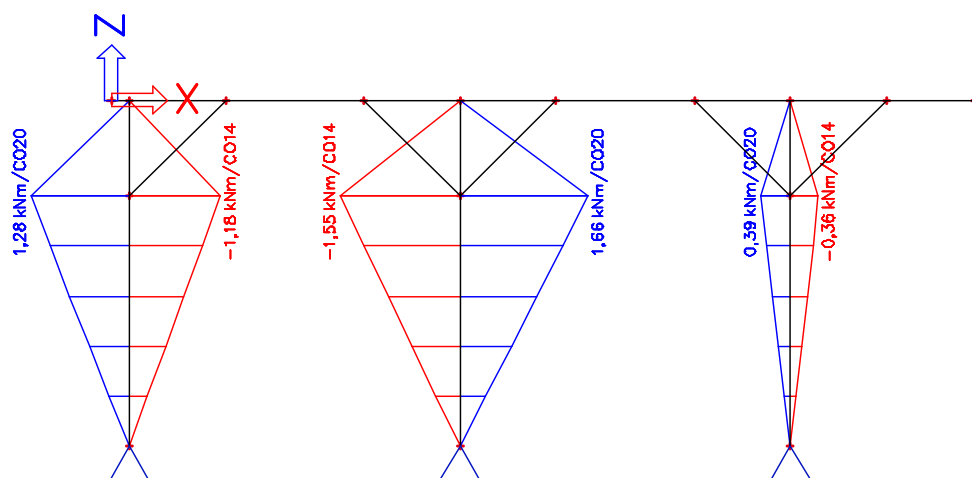
$$I_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{6} \cdot 0,12 \cdot 0,12^3 = 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

poloměr setrvačnosti k ose y:

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,73 \cdot 10^{-5}}{0,014}} = 0,035 \text{ m}$$



Obrázek 9.7 – normálové síly ve sloupcích



Obrázek 9.8 – ohybové momenty ve sloupcích

posouzení maximálního ohybového momentu a tlaku

Prvek je posouzen na kombinaci tlaku a ohybu. U výpočtu bylo uvažováno i se vzpěrem.

rozhodující kombinace:

CO020	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
mimořádný sníh	1,50

ohybový moment: $M = 1,66 \text{ kNm}$

normálová síla: $N = -24,38 \text{ kN}$

vzpěrná délka: $L_{cr,y} = 2,7 \text{ m}$

štíhlostní poměr: $\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2,7}{0,035} = 77,942$

poměrný štíhlostní poměr: $\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{77,942}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,322$

součinitel přímosti: $\beta_c = 0,2$

součinitel vzpěrnosti: $k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,322 - 0,3) + 1,322^2] = 1,476$

součinitel vzpěrnosti: $k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,476 + \sqrt{1,476^2 - 1,322^2}} = 0,469$

napětí od normálové síly: $\sigma_{c,0,d} = \frac{|N|}{A} = \frac{|-24,38 \cdot 10^{-3}|}{0,014} = 1,693 \text{ MPa}$

napětí od ohybu: $\sigma_{m,y,d} = \frac{|M|}{W_y} = \frac{|1,66 \cdot 10^{-3}|}{2,88 \cdot 10^{-4}} = 5,764 \text{ MPa}$

podmínka spolehlivosti: $\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$

$$\frac{5,7694}{16,615} + \frac{1,693}{0,469 \cdot 14,538} \leq 1$$

$$0,595 \leq 1$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

posouzení maximálního tlaku

U výpočtu bylo uvažováno i se vzpěrem.

rozhodující kombinace:

CO020	
zatěžovací stav	bezpečnostní součinitel
vlastní tíha	1,35
stálé	1,35
mimořádný sníh	1,50

normálová síla: $N = -25,46 \text{ kN}$

vzpěrná délka: $L_{cr,y} = 2,7 \text{ m}$

štíhlostní poměr: $\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2,7}{0,035} = 77,942$

poměrný štíhlostní poměr: $\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{77,942}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,322$

součinitel přímosti: $\beta_c = 0,2$

součinitel vzpěrnosti:

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,322 - 0,3) + 1,322^2] = 1,476$$

součinitel vzpěrnosti:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,476 + \sqrt{1,476^2 - 1,322^2}} = 0,469$$

napětí od normálové síly:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N|}{A} = \frac{|-25,46 \cdot 10^{-3}|}{0,014} = 1,768 \text{ MPa}$$

podmínka spolehlivosti:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \cdot k_{c,y}$$

$$1,768 \leq 14,538 \cdot 0,469$$

$$1,768 \leq 6,820$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

Závěr

Na objekt byl navržen hambalkový krov s vrcholovou vaznicí, který umožňuje největší využití podkrovního prostoru. Krokve byly navrženy o rozměrech 100 x 180, kleštiny 60 x 200, jelikož má krov relativně velké rozpětí, vycházely velké vnitřní síly a problém byl s návrhem vrcholové vaznice. Vrcholová vaznice je podepřena na okrajích štítovými zdmi a mezi nimi dvěma sloupky, jejichž umístění je dáno vnitřní dispozicí. Vzhledem k tomu, že vaznice vycházela velkých rozměrů, navrhuji použití pásků. Nejprve jsem navrhla krátké pásky, tak aby se vlezly do prostoru nad klestinami a pak delší, které umožnily další zmenšení profilu na 180 x 240. Porovnání vlivu délky pásků na vnitřní síly a průhyb je v příloze 1.

Ve spojích je posouzeno podélné nastavení vaznice, spoje kleštiny s krokví, spoj krokví ve vrcholu a kotvení venkovního sloupu. Spoj kleštiny s krokví je ve dvou variantách, v první variantě je spoj proveden pouze pomocí svorníku a ve druhé je použit svorník s vloženými hmoždíky. Možnosti výpočtů únosnosti hmoždíků je v příloze 2.

Nakonec byl posouzen také stávající dřevěný přístřešek pro auta, u kterého po postavení krovu vznikne nový zatěžovací stav a to spad sněhu. Střecha přístřešku je pultová a na mezní stav únosnosti nevyhověla vrchní vaznice a sloupky. Bylo tedy navrženo přidání třetího sloupku mezi dva stávající sloupky, které podpírají horní vaznici.

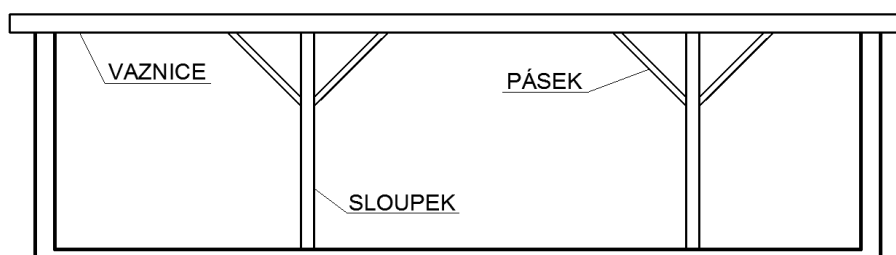
Použitá literatura

- [1] Jelínek L., Tesařské konstrukce
- [2] ČSN P ENV 1995-1-1, navrhování dřevěných konstrukcí, část 1-1: obecná pravidla pro navrhování
- [3] ČSN EN 1991-1-1, zatížení konstrukcí, část 1-1: obecná zatížení
- [4] ČSN EN 1991-1-3, zatížení konstrukcí, část 1-3: obecná zatížení – zatížení sněhem
- [5] ČSN EN 1991-1-4, zatížení konstrukcí, část 1-4: obecná zatížení – zatížení větrem
- [6] ČSN EN 1995-1-1, navrhování dřevěných konstrukcí, část 1-1: obecná pravidla – společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [7] Kuklík P., Navrhování dřevěných konstrukcí – příručka k ČSN EN 1995-1-1
- [8] Kuklík, Kuklíková, Mikeš: dřevěné konstrukce, cvičení
- [9] ČSN EN 912, spojovací prostředky pro dřevo – specifikace pro speciální hmoždíky
- [10] Koželouh B., STEP1 – dřevěné konstrukce podle eurokódu 5
- [11] www.bramac.cz
- [12] www.bova.cz

Přílohy

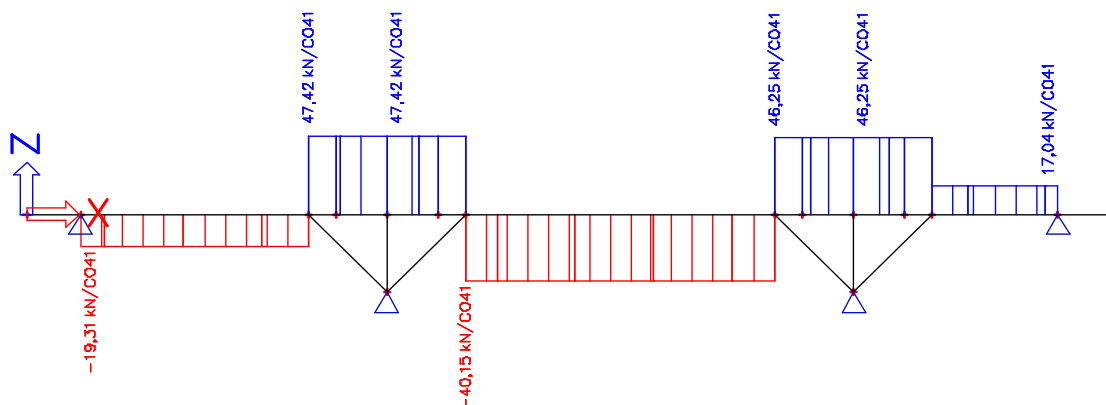
1. Vliv délky pásků na vnitřní síly a průhyb

Pásek je krátký tlačný prvek, který snižuje otačení vaznice a zmenšuje průhyb vaznice. Jeden konec je čepován do sloupku, druhý do vaznice, obrázek 1.



Obrázek 1 – umístění pásků v krovu

Přidáním pásků k vaznici vzniknou i další napětí, které tam předtím nebyly. Mezi sloupky bude vaznice tlačená a mezi pásky vznikne tah, jak je znázorněno na obrázku 2. Velikost těchto napětí lze ovlivnit délkou pásků, tedy zkrácením rozpětí pole vaznice.



Obrázek 2 – normálové síly ve vaznici

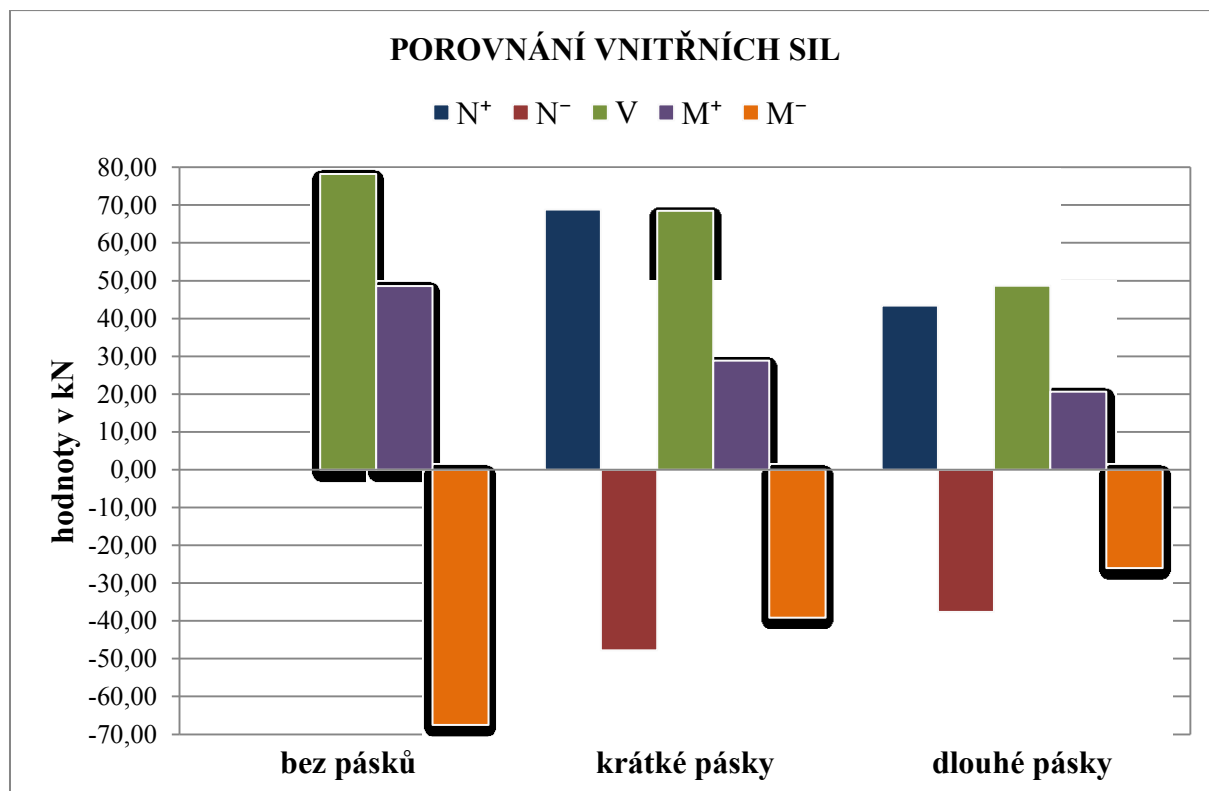
Při návrhu vaznice, se nejprve zvolila vaznice bez pásků a pro návrh průřezu byl rozhodující průhyb. Aby vaznice vyhověla, byl nutný profil 220x320, který je příliš velký. Po přidání krátkých pásků, které zkracovaly rozpětí vaznice mezi sloupky o 1/4 byl pro návrh vaznice rozhodující mezní stav únosnosti a to kombinace tlaku a ohybu a posouzení na smyk, profil vycházel o rozměrech 200x260. Nakonec se navrhly pásky delší, zkracující rozpětí vaznice

mezi sloupky o 1/3. Při návrhu průřezu rozhodl mezní stav únosnosti, konkrétně posudek na smyk a byl navržen profil 180x240

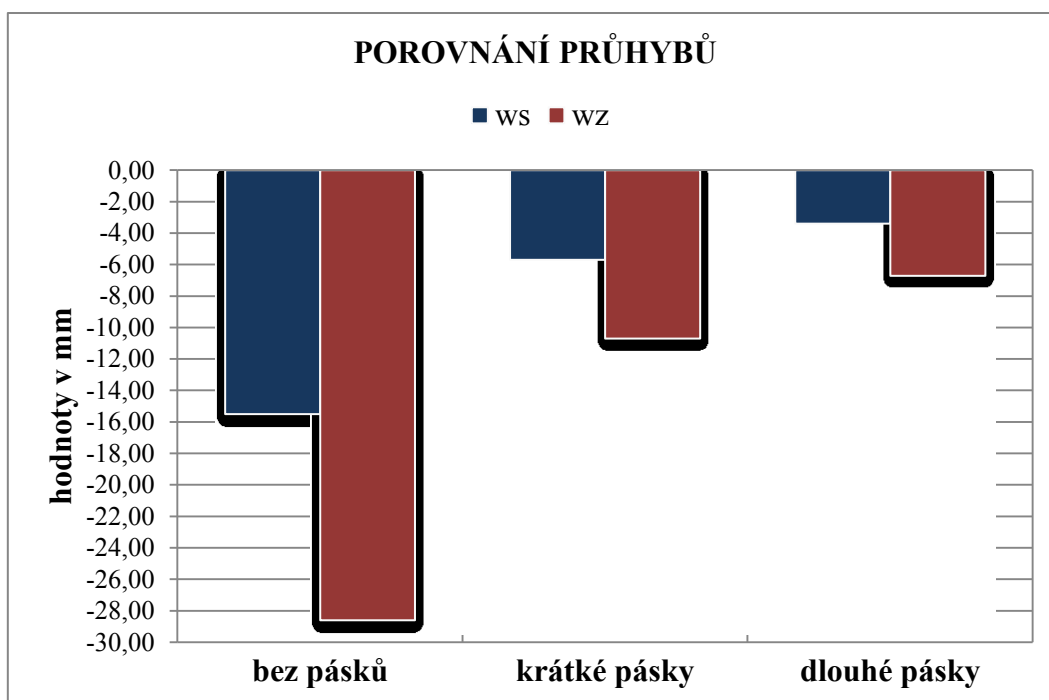
V tabulce 1 jsou uvedeny hodnoty vnitřních sil a průhybů u vaznice bez pásků a s krátkými a dlouhými pásky. Zatížení je ve všech případech stejné a pro možnost porovnání průhybů byl použit všude stejný profil o rozměrech 180x240. V grafu 1 jsou porovnány vnitřní síly pro jednotlivé případy a v grafu 2 průhyby.

porovnávané veličiny		označení v grafu	bez pásků	krátké pásky	dlouhé pásky
vnitřní síly	maximální tahová síla [kN]	N ⁺	0,00	68,87	43,40
	maximální tlaková síla [kN]	N ⁻	0,00	-47,79	-37,61
	maximální posouvající síla [kN]	V	78,24	68,49	48,73
	maximální kladný ohybový moment [kN]	M ⁺	48,61	28,88	20,66
	maximální záporný ohybový moment [kN]	M ⁻	-67,46	-39,11	-26,00
průhyb	průhyb od stálého zatížení [mm]	w _s	-15,50	-5,70	-3,40
	průhyb od nahodilého zatížení [mm]	w _z	-28,60	-10,70	-6,70

Tabulka 1 – hodnoty vnitřních sil a průhybů pro jednotlivé případy podepření



Graf 1 – porovnání vnitřních sil na vaznici



Graf 2 – porovnání průhybů na vaznici

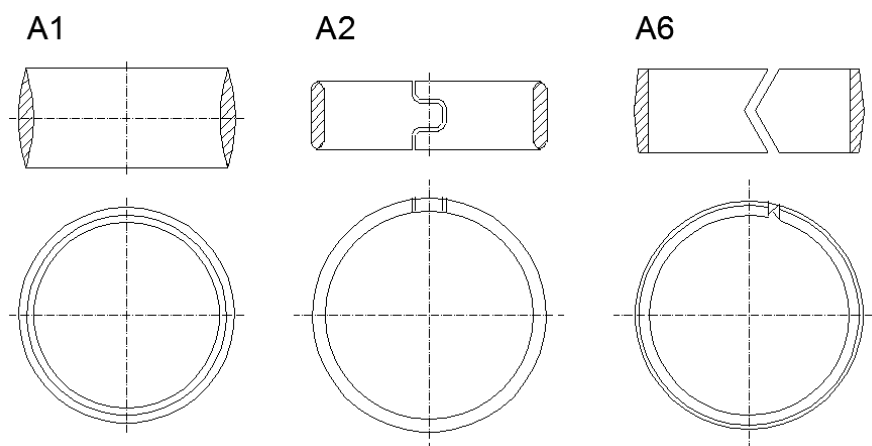
2. Spoje s vloženými hmoždíky

Hmoždíky se do spojů vkládají mezi dřeva, tak aby bránily jejich vzájemnému posunu. Jsou převážně namáhány smykem a musí se doplnit svorníkem [1]. Charakteristická únosnost spoje se pak vypočte jako součet charakteristických únosností obou spojovacích prostředků [6].

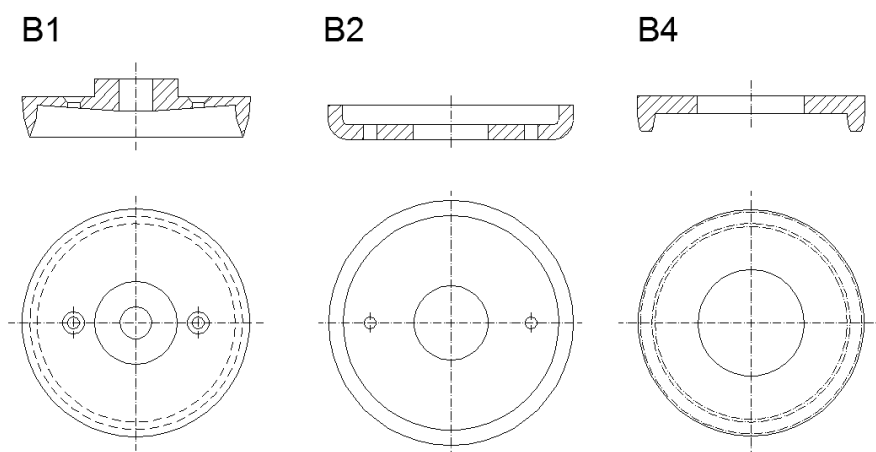
Spoje s vloženými hmoždíky se počítají podle normy ČSN EN 1995-1-1 [6] a v normě ČSN EN 912 [9] lze nalézt specifikace pro hmoždíky. Únosnost se dá také jednoduše určit z tabulek výrobců. Například firma Bova nabízí ozubené hmoždíky typu bulldog s tabelovanými hodnotami jejich výpočtových únosností.

Norma ČSN EN 912 [9] určuje specifikace pro čtyři typy hmoždíků, typ A prstencové hmoždíky, typ B talířové hmoždíky, typ C ozubené hmoždíky a typ D speciální hmoždíky.

Prstencové hmoždíky typu A se dále dělí na typ A1 až A6. Jsou to ocelové hmoždíky, které se vkládají do předem připravených drážek ve dřevě. Ukázky některých hmoždíků jsou na obrázku 3. Talířové hmoždíky se dále dělí na typ B1 až B4 a jsou na obrázku 4.



Obrázek 3 – příklad hmoždíků typu A



Obrázek 4 – příklad hmoždíků typu B

Charakteristická únosnost jednoho hmoždíku pro jeden stříh se počítá dle normy ČSN EN 1995-1-1 [6] podle následujícího postupu:

charakteristická únosnost v N:

$$F_{v,0,Rk} = \min \left\{ \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot 35 \cdot d_c^{1,5}}{k_1 \cdot k_2 \cdot h_e \cdot 31,5 \cdot d_c} \right\}$$

kde k_1 , k_2 , k_3 , a k_4 modifikační součinitele

d_c průměr hmoždíku mm

h_e hloubka vsazení v mm

modifikační součinitele:

$$k_1 = \min \left\{ \frac{1}{\frac{t_1}{3h_e}}, \frac{t_2}{5h_e} \right\}$$

kde t_1 a t_2 jsou tloušťky spojovaných dřev

$$k_2 = \min \left\{ \frac{k_a}{\frac{a_{3,t}}{2d_c}} \right\}$$

$$\text{kde } k_a = \begin{cases} 1,25 & \text{pro spoje s jedním hmoždíkem} \\ 1 & \text{pro spoje s více než jedním hmoždíkem} \end{cases}$$

$a_{3,t}$ minimální vzdálenost k zatíženému konci

$$a_{3,t} = 1,5d_c$$

$$k_3 = \min \left\{ 1,5, \frac{\rho_k}{350} \right\}$$

kde ρ_k je charakteristická hustota dřeva

$$k_4 = \begin{cases} 1 & \text{pro spoje dřevo – dřevo} \\ 1,1 & \text{pro spoje ocel dřevo} \end{cases}$$

Pro sílu pod úhlem α k vláknům se má charakteristická únosnost počítat takto:

$$F_{v,\alpha,Rk} = \frac{F_{v,0,Rk}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

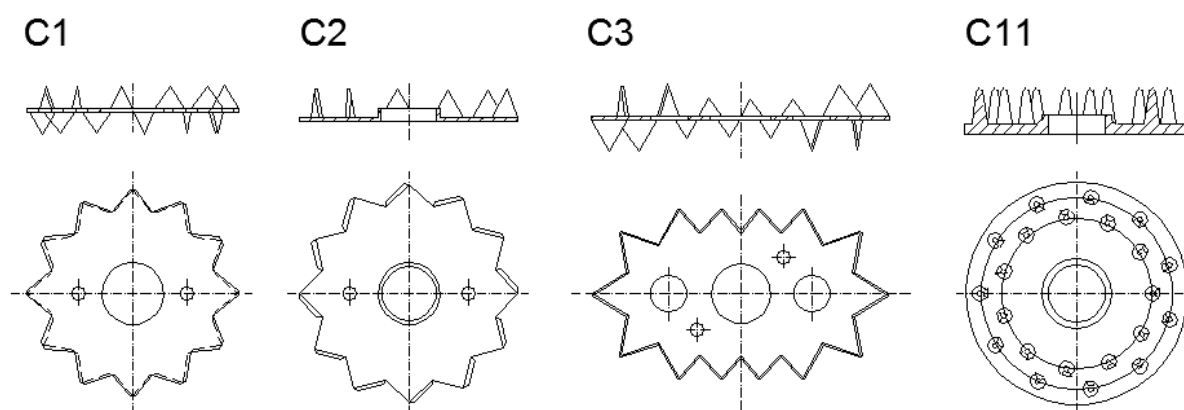
$$\text{kde } k_{90} = 1,3 + 0,001 \cdot d_c$$

Minimální rozteče a vzdálenosti od okrajů a konců jsou uvedeny v tabulce 2.

rozteče	úhel	minimální rozteče
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1,2+0,8l\cos \alpha)d_c$
a_2 (kolmo k vláknům)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1,2d_c$
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1,5d_c$
$a_{3,c}$ (nezatížený konec)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$(0,4+1,6l\sin \alpha)d_c$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$1,2d_c$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0,4+1,6l\sin \alpha)d_c$
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(0,6+0,2l\sin \alpha)d_c$
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0,6d_c$

Tabulka 2 – minimální rozteče pro prstencové a talířové hmoždíky

Ozubené hmoždíky mohou mít různé tvary i velikosti, bývají kruhové, čtvercové i obdélníkové. Rozlišujeme typy C1 až C11, některé z nich jsou nakresleny na obrázku 5. Uprostřed je vždy otvor pro svorník, malé otvory slouží pro montážní přichycení hřebíkem. Hmoždíky se do dřeva zalisují lisem nebo vysokopevnostním svorníkem, který se poté vyndá a nahradí běžným svorníkem, který bude součástí spoje [1]. Dále rozlišujeme hmoždíky oboustranné, které se používají pro spoje dřevo – dřevo a jednostranné určené pro spoje ocel – dřevo.



Obrázek 5 – příklad hmoždíků typu C

Výpočet dle normy ČSN EN 1995-1-1 [6] se provádí dle následujícího postupu:

charakteristická únosnost jednoho hmoždíku:

$$F_{v,Rk} = \begin{cases} 18 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot d_c^{1,5} & \text{pro typy C1 až C9} \\ 25 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot d_c^{1,5} & \text{pro typy C10 a C11} \end{cases}$$

kde k_1 , k_2 a k_3 modifikační součinitele

d_c průměr hmoždíku mm pro typy C1, C2, C6, C7, C10 a C11

délka strany hmoždíku v mm pro typy C5, C8 a C9

druhá odmocnina součinu obou délek stran v mm pro typy C3 a C4

modifikační součinitele:

$$k_1 = \min \left\{ \frac{1}{\frac{t_1}{3h_e}}, \frac{t_2}{5h_e} \right\}$$

kde t_1 a t_2 jsou tloušťky spojovaných dřev

h_e hloubka vsazení v mm

$$k_2 = \min \left\{ \frac{1}{\frac{a_{3,t}}{1,5d_c}} \right\}$$

$$\text{kde } a_{3,t} = \max \left\{ \frac{1,1d_c}{7d}, 80 \right\}$$

d je průměr svorníku

$$k_3 = \min \left\{ \frac{1,5}{\frac{\rho_k}{350}} \right\}$$

kde ρ_k je charakteristická hustota dřeva

Minimální rozteče a vzdálenosti od okrajů a konců jsou uvedeny v tabulce 3.

rozteče	úhel	minimální rozteče
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1,2+0,3\cos \alpha)d_c$
a_2 (kolmo k vláknům)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1,2d_c$
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$2d_c$
$a_{3,c}$ (nezatížený konec)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$(0,9+0,6\sin \alpha)d_c$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$1,2d_c$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0,9+0,6\sin \alpha)d_c$
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(0,6+0,2\sin \alpha)d_c$
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0,6d_c$

Tabulka 3 – minimální rozteče pro hmoždíky

Hmoždík typu C1 lze nalézt taky v nabídce firmy Bova, která v katalogu uvádí taky návrhové únosnosti, tabulka 4. Tyto únosnosti jsou převzaté z normy ČSN 73 1701. Oproti výpočtu podle nové normy ČSN EN 1995-1-1 [6], jsou tyto tabulkové únosnosti vyšší. Návrhové hodnoty byly vypočteny pro okamžikové zatížení a třídu provozu 1.

návrhové únosnosti hmoždíků dle ČSN 73 1701				
průměr hmoždíku d_c		50	75	95
odklon síly od směru vláken	0° až 30°	6	10,8	14,4
	30° až 60°	5,4	10,2	13,2
	60° až 90°	5,4	9,6	12,6
únosnosti hmoždíků dle normy ČSN EN 1995-1-1				
charakteristická únosnost		6,4	8,7	12,2
návrhová únosnost pro k_{mod} 1,1 a $\gamma_M = 1,3$		5,4	7,4	10,3

Hmoždíky typu D jsou dřevěné vkládané hmoždíky, které se dnes moc nepoužívají. Musí být vyrobeny z kvalitního dubového dřeva minimální charakteristické hustoty 600kgm^{-3} . Směr vláken musí probíhat kolmo k ose svorníku [9].